

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Τίτλος εργασίας :**

**ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΜΙΚΡΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ**

**Μελέτη-Κατασκευή**

**Του φοιτητή : Ηλιάδη Ευάγγελου**

**Επιβλέπων Καθηγητής:**

**Θανόπουλος Ιωάννης**

**Εκπόνηση Εργασίας ΑΚ. Έτος 2002-2003.**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 2430/1  
Ημερ. Εισ.: 10-03-2004  
Δωρεά: \_\_\_\_\_  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ ΠΜ  
2003  
ΗΛΙ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000072555

# Περιεχόμενα

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Θέμα της εργασίας

## 2. ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ

### 2.1 Ανάλυση των αιτιών

### 2.2 Κίνδυνος εσωτερικής διάβρωσης

## 3. ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

## 4. ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

### 4.1 Αναχώμα

### 4.2 Θεμελίωση

### 4.3 Αγωγός εκκένωσης

#### 4.3.1 Μέτρα για την σωστή κατασκευή του αγωγού εκκένωσης

#### 4.3.2 Διαφράγματα φίλτρου

### 4.4 Εκχειλιστής

## 5. ΤΥΠΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ

### 5.1 Φράγμα του Λόφου

## 6. ΜΕΛΕΤΗ ΕΡΓΩΝ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ

### 6.1 Επιτόπου έρευνες

## 7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ (βελτίωσης του αναχώματος)

### 7.1 Έλεγχοι ευστάθειας

### 7.2 Μέτρα σταθεροποίησης

### 7.3 Παραμετρική ανάλυση

## 8. ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ

### 8.1 Σχεδιασμός φίλτρων

### 8.2 Συνθήκες θεμελίωσης υπάρχοντος αναχώματος

## 9. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ανάγκες για **άρδευση** των περιοχών , που βρίσκονται στους πρόποδες του Ολύμπου , κάτω από το χωριό Λιβάδι Ελασσόνας , οδήγησαν στην κατασκευή μικρών ταμιευτήρων. Τα αναχώματα που κατασκευάστηκαν στην περίπτωση αυτή είναι γενικά μικρού ύψους ( < 10m ).

Σε μια όμως θέση (τοποθεσία “Κουτή”) , έχει κατασκευασθεί από τις τεχνικές υπηρεσίες του δήμου ανάχωμα περί τα 20m ύψους χωρίς να υιοθετηθούν τεχνικές που χρησιμοποιούνται για μεγαλύτερα έργα ( διαζώνιση , έλεγχος ποιότητας κλπ. ) .αλλά με απλή υπερύψωση του αρχικού ομογενούς αναχώματος.

Αυτή η τεχνική , εγκυμονεί κινδύνους αστοχίας οι συνέπειες των οποίων μπορεί να είναι πολύ σοβαρές για τις κατάντη περιοχές εάν το συγκροτούμενο νερό έχει ικανό όγκο να προκαλέσει πλημμυρικό κύμα. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος πρέπει να λαμβάνονται μέτρα προστασίας βελτίωσης του αναχώματος και του υπερχειλιστή εφόσον βέβαια αυτό είναι εφικτό. Σε αντίθετη περίπτωση θα πρέπει να ανακατασκευασθεί το ανάχωμα.

### 1.1 Θέμα της εργασίας

Θέμα της διπλωματικής αυτής είναι

Α ) Η τεχνική περιγραφή του αναχώματος στη θέση «Κουτή» του Λιβαδίου Ελασσόνας πριν από την επισκευαστική παρέμβαση.

Β ) Ο εντοπισμός των προβλημάτων και η επισήμανση των κινδύνων που υπήρχαν για το έργο.

Γ ) Η μελέτη μέτρων που θα βελτιώσουν την ευστάθεια του αναχώματος.

Δ ) Αναλύσεις ευστάθειας με χρήση προγράμματος **XSTABL** για προσδιορισμό των συντελεστών ασφαλείας για διάφορα σενάρια φορτίσεως

Ε ) Παρακολούθηση των επισκευαστικών εργασιών προδιαγραφές υλικών που χρησιμοποιήθηκαν κλπ.

## 2. ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ

Μια καταγραφή των αιτιών που οδηγούν στην αστοχία των φραγμάτων έγινε από τον Sowers (1977) ο οποίος κατέδειξε ότι οι μηχανισμοί αστοχίας είναι πολύπλοκοι. Σε αρκετές περιπτώσεις ολόκληρη η κατασκευή παρασύρθηκε από το νερό. (Το τελευταίο αποτελεί το βασικό κίνδυνο για κάθε είδους αστοχία στα χωμάτινα φράγματα).

### 2.1 Ανάλυση των αιτιών

Αν και συνήθως δεν υφίστανται επαρκή αρχεία στοιχείων μελέτης και κατασκευής φραγμάτων, πολλές αστοχίες προήλθαν από υπερπήδηση του νερού .

Ακόμη μια άλλη αιτία αστοχίας είναι οι διαρροές που προκαλούν εσωτερική διάβρωση και ολισθήσεις-θραύσεις μέσα στο σώμα του αναχώματος ή διαμέσου χαλαρών υλικών θεμελίωσης( το ανάχωμα δεν εδράζεται σε βραχώδη σχηματισμό αλλά σε χαλαρότερο στρώμα).

Μια Τρίτη σοβαρή αιτία αστοχιών είναι η εκδήλωση ολίσθησης στα πρανή του αναχώματος.

Αστοχία τύπου εσωτερικής διάβρωσης (piping), σημειώθηκε το 1976 στις Η.Π.Α. στο φράγμα **Teton Dam** το οποίο κατέρρευσε στη διάρκεια της πρώτης πλήρωσης του ταμιευτήρα.

Το συγκεκριμένο φράγμα (ύψους 90m), ήταν κατασκευασμένο από υλικά αργίλου, ιλύος, άμμου και αμινοχάλικων. Η διάβρωση ξεκίνησε στο δεξιό αντέρεισμα με εμφάνιση διαρροής στο κάτω τμήμα του κατάντη πρανούς (προειδοποίηση αστοχίας).

Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν οπές διάβρωσης που διευρύνθηκαν ,δημιουργώντας έτσι ένα μεγάλο τούνελ το οποίο με τη σειρά του κατέρρευσε σχηματίζοντας μια μεγάλη τάφρο διαμέσου της οποίας ξεπλύθηκε ένα μεγάλο μέρος του φράγματος.

Πολλές περιπτώσεις αστοχιών έχουν επιτελεσθεί με ανθρώπινα θύματα όπως αυτή του Baldwin Hills Reservoir, του Malpasset Dam και της καταστροφικής κατολίσθησης στον ταμιευτήρα του φράγματος Vajont.

Μια μελέτη σχετικά με αστοχίες φραγμάτων κατατέθηκε στο National Research Council(1983) και αφορούσε αναχώματα των οποίων το ύψος ξεπερνά τα 15m. Η έρευνα αυτή κατέδειξε ότι:

Αστοχίες στη θεμελίωση συνήθως επισυμβαίνουν σχετικά νωρίς κατά τη διάρκεια ζωής του φράγματος.

50% απ'όλα τα αστοχούντα φράγματα ήταν μεταξύ 15 και 20 m ύψος.

Τα χωμάτινα φράγματα αστοχούν σε ποσοστό 74% από το σύνολο των αστοχούντων φραγμάτων και σε διπλάσιο βαθμό από τα φράγματα κατασκευασμένα από σκυρόδεμα. Ωστόσο από το 1985 και μετά η πιθανότητα αστοχίας ενός χωμάτινου φράγματος είναι ίδια με αυτήν της αστοχίας ενός φράγματος από σκυρόδεμα.

## 2.2 Κίνδυνος εσωτερικής διάβρωσης

Διαφόρου τύπου αστοχίες που συνέβησαν μέχρι το 1979 κατατέθηκαν στο Διεθνές ερευνητικό συμβούλιο(1983) και με βάση τις αστοχίες αυτές συντάσσεται ο παρακάτω πίνακας (Table 1.1).(Geotechnical Engineering of Embankment Dams by STAPLEDON et all.)

Table 1.1. Causes of dam incidents.

Cause	Type of dam						Totals		
	Concrete		Embankment		Other*				
	F	A	F	A	F	A	F	A	F&A
Overtopping	6	3	18	7	3		27	10	37
Flow erosion	3		14	17			17	17	34
Slope protection damage				13				13	13
Embankment leakage, piping			23	14			23	14	37
Foundation leakage, piping	5	6	11	43	1		17	49	66
Sliding	2	5	28				7	28	35
Deformation		2	3	29	3		6	31	37
Deterioration		6	2	3			2	9	11
Earthquake instability				3				3	3
Faulty construction	2			3			2	3	5
Gate failures	1	2	1	3			2	5	7
TOTAL	19	19	77	163	7		103	182	285

\*Steel, masonry-wood, or timber crib.

F = failure.

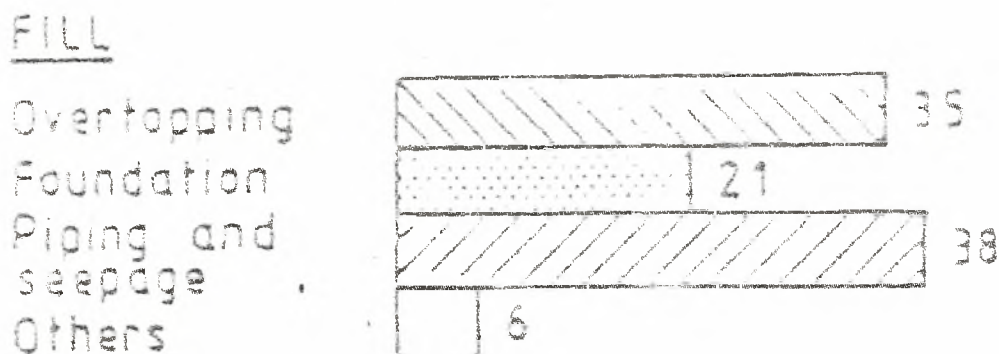
A = accident = an incident where failure was prevented by remedial work or operating procedures, such as drawing down the pool.

Source: Compiled from Lessons from Dam Incidents, USA, ASCE/USCOLD 1975, and supplementary survey data supplied by USCOLD.

Όπως μπορεί εύκολα να διαπιστωθεί από τον πίνακα , η διαρροή και η εσωτερική διάβρωση μέσω του σώματος του αναχώματος και μέσω της θεμελιώσεως είναι οι βασικές αιτίες “αστοχιών” και “ατυχημάτων” για ένα φράγμα είτε αυτό είναι κατασκευασμένο από σκυρόδεμα ή από χωμάτινα υλικά.

Ειδικά στα χωμάτινα φράγματα είναι πλέον σημαντικό να ελέγχεται η πίεση πόρων του νερού τόσο κατά την φάση του σχεδιασμού, όσο και κατά την κατασκευή. Ο έλεγχος αυτός της πίεσης πόρων του νερού είναι πρωταρχικός παράγων ευστάθειας για ένα ανάχωμα και ελέγχεται μέσω ειδικών υπολογιστικών μεθόδων .

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το ποσοστό αστοχίας που οφείλεται στην υπερπήδηση, στη θεμελίωση, στην εσωτερική διάβρωση & διαρροές και σε άλλες αιτίες  
Η θεώρηση αυτή αναφέρεται σε φράγματα με ύψος μεγαλύτερο από 15m.



Από τα παραπάνω παρατιθέμενα στοιχεία προκύπτει ότι κατά την μελέτη αλλά και την κατασκευή του έργου είναι σκόπιμο να υιοθετούνται σύγχρονες μέθοδοι και προδιαγραφές καθώς και να γίνονται σεβαστοί οι κανόνες της τεχνικής κατασκευής των φραγμάτων για αποφυγή προβλημάτων.

Παράλληλα πρέπει να εξασφαλισθεί η παρακολούθηση του έργου κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του.



### 3. ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Το συγκεκριμένο ανάχωμα είναι αρκετά υψηλό περί τα 20m και πλάτους στέψης περίπου 6,0m ,το οποίο αποτελείται από ομογενή υλικά κατασκευής, ενώ πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν ότι δεν υπάρχουν ζώνες ελέγχου της εσωτερικής ροής.



Όπως φαίνεται από την γενική εικόνα του αναχώματος στην υπάρχουσα κατάσταση(αρχικά πριν από την “ενίσχυσή” του , η κλίση του ανάντη πρανούς είναι αρκετά ήπια ,περίπου (1:3), ενώ το κατόντη πρανές είναι σχετικά απότομο (1:1,68),σύμφωνα με τον τοπογραφικό έλεγχο.

Σημειώνεται επίσης ότι **δεν υπάρχει προστασία** τόσο για το ανάντη ,όσο και για το κατόντη πρανές , με συνέπεια το ανάχωμα να παρουσιάζεται αρκετά ‘ευαίσθητο’ ως προς τον κίνδυνο της αστοχίας λόγω ολίσθησης των πρανών του, αλλά και από τον κίνδυνο της επιφανειακής διάβρωσης από τη βροχή.

Στα ανάντη του αναχώματος δημιουργείται ένας μικρός ταμιευτήρας για την τροφοδοσία του οποίου χρησιμοποιούνται νερά άλλου ρέματος , δεδομένου ότι η λεκάνη απορροής είναι πολύ μικρή και δεν επαρκεί για την τροφοδοσία του συγκεκριμένου ταμιευτήρα. Το θετικό στην περίπτωση αυτή είναι ότι η τροφοδοσία αλλά και η υπερχειλίση του ταμιευτήρα είναι σχετικά ελεγχόμενες και δεν εξαρτώνται από τα πλημμυρικά συμβάντα της περιοχής.



## 4. ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

### 4.1 Ανάχωμα

Όπως ήδη αναφέρθηκε, το συγκεκριμένο ανάχωμα έχει ύψος περίπου 20m και αποτελείται από ομογενή αργιλικά υλικά χωρίς ζώνες ελέγχου της εσωτερικής ροής. Είναι προφανές ότι το σημαντικό αυτό ύψος του αναχώματος, επιβάλλει τη λήψη μέτρων σταθεροποίησης για την ενίσχυση της ευστάθειάς του, δεδομένου μάλιστα ότι η κλίση του κατάντη πρανούς είναι αρκετά απότομη.

Στην διεθνή πρακτική **δεν είναι τεχνικά αποδεκτό** τα ομογενή αναχώματα να ξεπερνούν τα **5-6m** σε ύψος ενώ η εσωτερική ροή έχει μακροχρόνια δυσμενείς **συνέπειες** στη διάρκεια ζωής του έργου(όσον αφορά την ευστάθειά του). Για το συγκεκριμένο ανάχωμα, παρατηρήσεις κατέδειξαν ότι με γεμάτο τον ταμιευτήρα, εμφανίζεται μικρή ροή στα χαμηλά σημεία του κατάντη πρανούς και εσωτερικά στη θεμελίωση, οπότε είναι εμφανής ο κίνδυνος αστοχίας λόγω εσωτερικής διάβρωσης και διαρροής.



Φωτογραφία 2

Στην φωτογραφία 2 φαίνονται διαρροές στον πόδα του κατάντη πρανούς.

Στην φωτογραφία 3 φαίνεται η ύπαρξη ροής στο σώμα του αναχώματος και στην θεμελίωση (εμφάνιση ροής στον κατάντη πόδα).



Φωτογραφία 3

Η αρχικά εμφανιζόμενη μικρής παροχής ροή προς τα κατάντη ,η οποία αναπτύσσεται είτε μέσα στο σώμα του αναχώματος είτε στη θεμελίωση του, μπορεί να παρασύρει προοδευτικά τους κόκκους του αργιλικού στρώματος σε “ξέπλυμα” μεγάλου τμήματος του αναχώματος .Ο τύπος αυτής της αστοχίας (υδραυλική αστοχία) πραγματοποιείται με την απουσία ζωνών ελέγχου της εσωτερικής ροής. Πολλά παραδείγματα τέτοιου τύπου αστοχίας έχουν παρατηρηθεί στο παρελθόν από εσωτερική διάβρωση στο σώμα τους (π.χ. Φράγμα του Διλόφου κ.α).

## 4.2 Θεμελίωση

Μια άλλη κρίσιμη παράμετρος είναι η σύσταση των υλικών της θεμελίωσης, αφού δεν πρόκειται για βραχώδη σχηματισμό, αλλά για υλικό σχηματιζόμενο από **ποταμοχειμάρρεις αποθέσεις & προϊόντα**

**παγετώδους αποσάθρωσης** διαστρωμένα σε οριζόντιες στρώσεις.(ετερογενή τα οποία περιέχουν αρκετά διαπερατούς οριζόντες).

Η **ετερογένεια** αυτή στο υλικό θεμελίωσης ( $k_h > k_v$ ) του αναχώματος δημιουργεί ιδιαίτερα προβλήματα όσον αφορά την ευστάθεια του κατάντη ποδός .Σημειώνεται ότι επιπλέον είναι άγνωστες οι συνθήκες έδρασης στον πυθμένα του μικρού ρέματος και πιθανότατα το ανάχωμα εδράζεται επί του προαναφερόμενου χαλαρού σχηματισμού.



**Φωτογραφία υλικών θεμελίωσης**

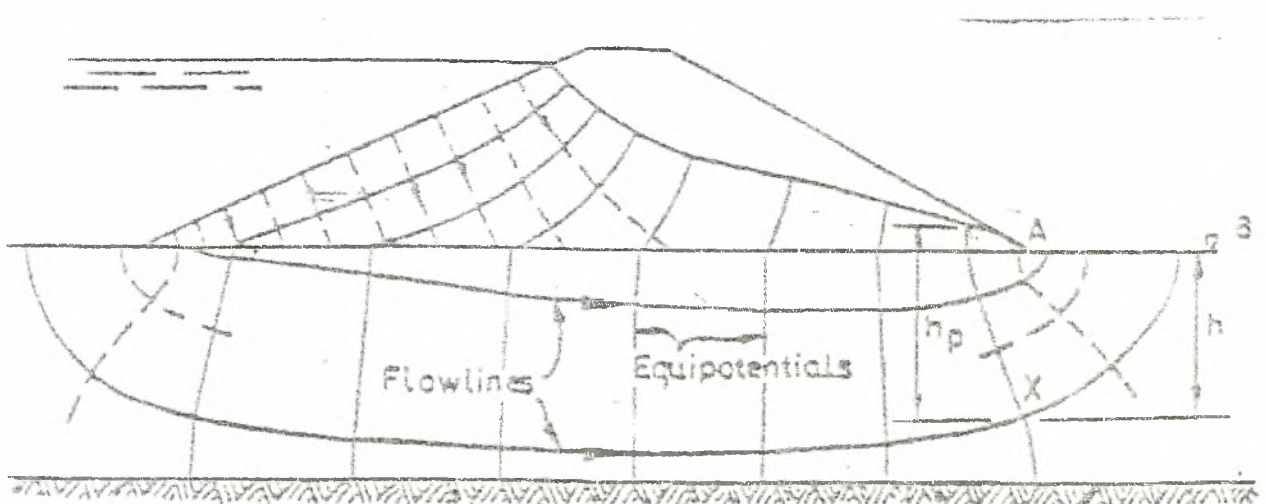
Όλες οι παραπάνω παράμετροι είναι δυσμενείς για την ευστάθεια του αναχώματος ιδιαίτερα όταν ο ταμιευτήρας είναι γεμάτος για δύο λόγους:

α) Η αναπτυσσόμενη πίεση των πόρων του νερού στο εσωτερικό του αναχώματος, ιδιαίτερα μετά από μια μακρόχρονη πλήρωση της λίμνης είναι εξαιρετικά επιβαρυντική όσον αφορά την ευστάθεια του κατάντη πρανούς.(Ο συντελεστής ασφαλείας είναι μικρότερος της



μονάδας σύμφωνα με τους υπολογισμούς ευστάθειας. Προκύπτει με βάση σχετικούς υπολογισμούς  $FOS=0,65$  )

β) Επιπλέον πολύ δυσμενής παράγοντας για τον συντελεστή ασφαλείας και κατ'επέκταση για την ευστάθεια του έργου είναι η διαρροή δια μέσου των στρώσεων της θεμελίωσης , ιδιαίτερα όταν αυτές παρουσιάζουν διαπερατούς ορίζοντες που λειτουργούν ως “μεταφορείς” της πίεσης από τα ανάντη στα κατόντη.(όπως φαίνεται στο σχήμα είναι εμφανής ο κίνδυνος της υδραυλικής ανύψωσης λόγω των ιδιαίτερα διαπερατών στρώσεων στη θεμελίωση ).



Ο κίνδυνος υδραυλικής ανύψωσης στην περιοχή AB (όπως φαίνεται σχηματικά), επισυμβαίνει όταν ισχύει η συνθήκη

$$u_x > (\gamma_{sat}-1) * h \quad (\text{κριτήριο για υδραυλική ανύψωση})$$

Δηλαδή όταν η πίεση πόρων στο σημείο x του σχήματος υπερβαίνει το βάρος των υπερκειμένων.

$u_x$  : πίεση πόρων στο σημείο x

$(\gamma_{sat}-1) * h$  : το βάρος των υπερκειμένων

Πραγματοποιώντας την ενίσχυση του αναχώματος με την τοποθέτηση υλικού λιθορριπής στο κατόντη πρανές, αυξάνεται το βάρος των υπερκειμένων στην περιοχή AB γεγονός που αποτρέπει τον κίνδυνο πρόκλησης υδραυλικής ανύψωσης, εφόσον το κριτήριο της ανύψωσης αναστρέφεται.

### 4.3 Αγωγός εκκένωσης.

Η ύπαρξη εντός της θεμελίωσης ενός **αγωγού εκκένωσης – υδροληψίας** δημιουργεί πρόσθετα προβλήματα ιδίως εκεί που η κατασκευή δεν είναι σωστή, δηλαδή δεν είναι εγκιβωτισμένος με σκυρόδεμα σε εκσκαφή, δεν έχει σωστή συμπίκνωση γύρω του κ.λ.π. Εξάλλου η ύπαρξη αγωγού εκκένωσης που διαπερνά ένα ανάχωμα είναι ο υπ' αριθμόν 1 κίνδυνος για την εκδήλωση υδραυλικής αστοχίας.

#### 4.3.1 Μέτρα για τη σωστή κατασκευή του αγωγού εκκένωσης

Η τοποθέτηση αγωγού εκκένωσης διαμέσου ενός χωμάτινου φράγματος, είναι μια συνήθης αιτία αστοχιών από εσωτερική διάβρωση , ιδίως στα μικρά φράγματα. Το πρόβλημα είναι ιδιαίτερα έντονο στα φράγματα αποτελούμενα από χαλαρούς αργιλικούς σχηματισμούς. Η παραδοσιακή μέθοδος αντιμετώπισης είναι η κατασκευή **εγκαρσίων διαφραγμάτων από σκυρόδεμα (cutoff collars)**, τοποθετημένα σε διάφορες θέσεις κατά μήκος του σωλήνα, όπως φαίνεται στο σχήμα. Η παρουσία των διαφραγμάτων αυτών έχει ως σκοπό να **διακόψει την πορεία της ροής** κατά μήκος του αγωγού, ώστε να προστατευθεί το αργιλικό υλικό του πυρήνα από τον κίνδυνο της εσωτερικής διάβρωσης.

Παρόλα αυτά ο κίνδυνος της αστοχίας λόγω εσωτερικής διαβρώσεως εξακολουθεί να υφίσταται. Επικρατούσα άποψη είναι ότι βασική αιτία των αστοχιών στην περίπτωση ύπαρξης αγωγού είναι η μη καλή συμπίκνωση του υλικού γύρω από τον σωλήνα. Επειδή ο σωλήνας είναι αρκετά ευαίσθητος ως προς το υλικό κατασκευής του , δεν νοείται να γίνει συμπίκνωση γύρω από το σωλήνα με τη βοήθεια μηχανημάτων , αφού υπάρχει ο κίνδυνος ότι αυτός θα σπάσει. Έτσι η συμπίκνωση επιτυγχάνεται χειρωνακτικά με αποτέλεσμα να μην είναι η καλύτερη δυνατή. Συνιστώμενη πρακτική στην περίπτωση αυτή είναι η τοποθέτηση του αγωγού εντός τάφρου, δηλαδή μέσα σε εκσκαφή. (προϋπόθεση ύπαρξης βράχου)

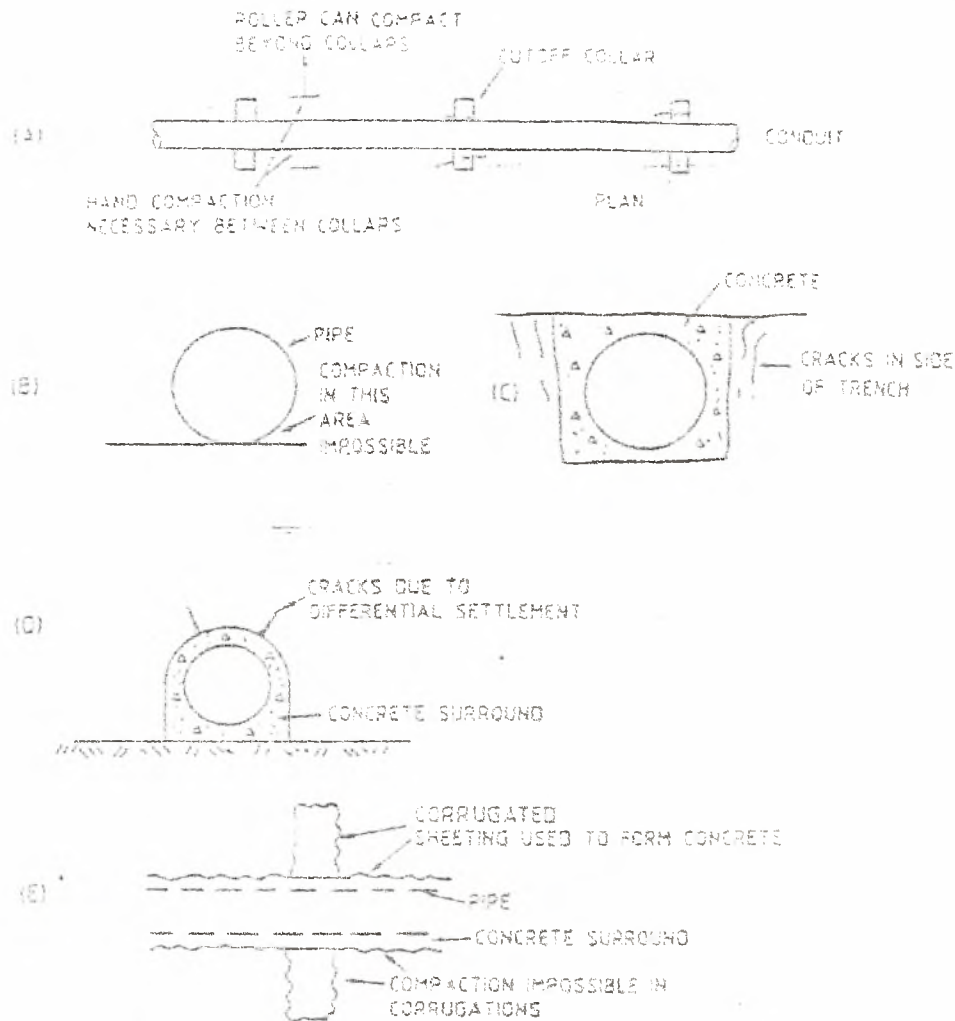


Figure 13.11. Some causes of piping failure around conduits: (A) Inadequate compaction due to the presence of cutoff collars; (B) Inadequate compaction under pipe; (C) Cracking in soil or extremely weathered rock in the sides of a trench; (D) Cracks due to differential settlement; (E) Use of corrugations or other roughening of the surface of cutoff collars or concrete surround.

Στο σχήμα (A) φαίνεται η τοποθέτηση των εγκάρσιων διαφραγμάτων από σκυρόδεμα (cutoff collar) τοποθετούμενα ανά ίσα τμήματα

Στο (B) φαίνεται η μη σωστή τοποθέτηση του σωλήνα, ο οποίος τοποθετήθηκε χωρίς εκσκαφή πάνω στο υλικό θεμελίωσης. Το γεγονός αυτό εγκυμονεί κίνδυνο ανάπτυξης **εφελκυστικών ρωγμών** οφειλόμενες σε διαφορετικές καθιζήσεις που είναι δυνατό να προκληθούν στον αργιλικό σχηματισμό του πυρήνα από τη έλλειψη επαρκούς συμπίκνωσης όπως φαίνεται στο σχήμα (D). Η παρουσία των εφελκυστικών ρωγμών εκτείνονται σε όλο το μήκος του αγωγού με αποτέλεσμα η ροή να διαπερνά ανεμπόδιστα το αργιλικό υλικό (μέσω των ρωγμών αυτών) και να κινδυνεύει να επέλθει αστοχία τύπου εσωτερικής διάβρωσης.



Στο σχήμα (C) φαίνεται η τοποθέτηση του αγωγού εντός μίας εκσκαφής. Όπως διακρίνεται, για την περίπτωση που η εκσκαφή δε γίνεται σε βραχώδες υπόβαθρο, δημιουργούνται πάλι ρωγμές εμφανιζόμενες στην παρειά της εκσκαφής, οπότε πάλι ο κίνδυνος της διαβρώσεως είναι ορατός.

### 4.3.2 Διαφράγματα φίλτρου

Η τεχνική της τοποθέτησης διαφραγμάτων από σκυρόδεμα δεν βρίσκει πλέον εφαρμογή καθώς δεν περιορίζει αισθητά τον κίνδυνο για αστοχία.

Μία άλλη καλύτερη πρακτική στην περίπτωση αγωγού είναι η τοποθέτηση διαφράγματος φίλτρου (filter diaphragm) σε μια θέση **κατάντη** στον αγωγό με σκοπό την συλλογή των μικροδιαρροών και την διακοπή της μετανάστευσης λεπτοκόκκων κατά μήκος του αγωγού.

Για το συγκεκριμένο έργο απαιτείται η τοποθέτηση ενός τέτοιου διαφράγματος ώστε να οδηγείται η ροή δια μέσου στρώματος φίλτρου στο κατάντη σημείο του αναχώματος.

Η περίπτωση τοποθέτησης διαφράγματος φίλτρου φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.

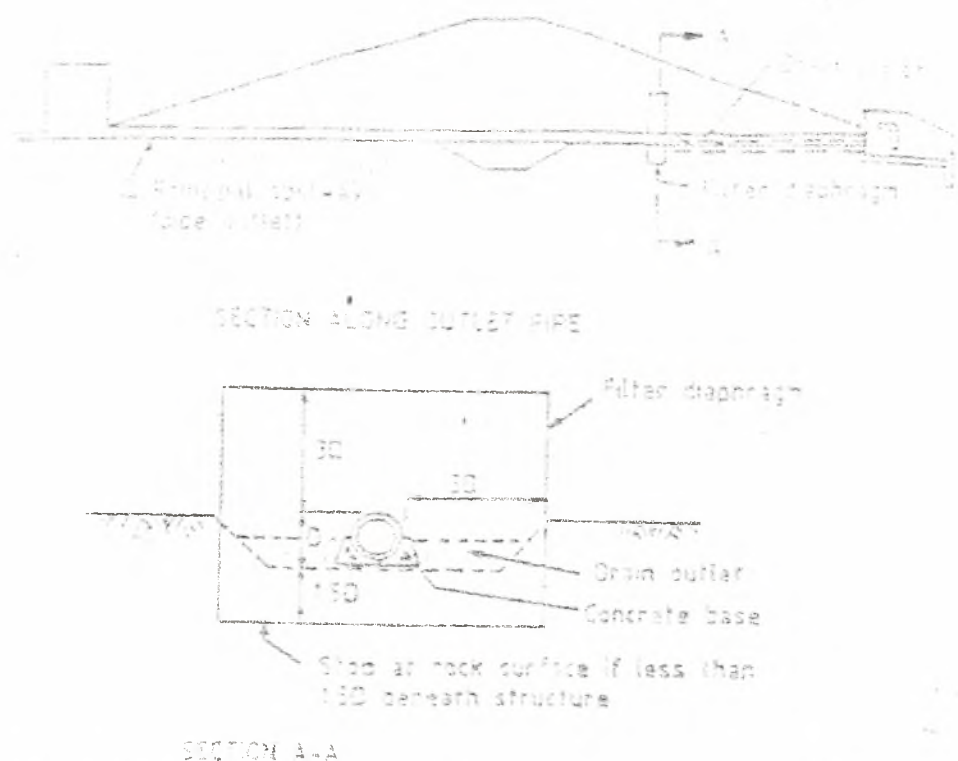


Figure 11.2 Filter diaphragm for leakage and piping control around culvert pipe (Talbot & Ralston 1985).

#### 4.4 Εκχειλιστής

Όπως διαπιστώθηκε επι τόπου , ο ήδη υπάρχων εκχειλιστής έχει κατασκευασθεί από **κακής ποιότητας σκυρόδεμα** , ιδιαίτερα στο κεκλιμένο τμήμα του. Επίσης η θεμελίωσή του παρουσιάζει προβλήματα (μη σωστή προετοιμασία , ύπαρξη κενών από διάβρωση κλπ.). Οπότε για τον εκχειλιστή ,θα πρέπει να γίνει επισκευή με διάστρωση νέου σκυροδέματος ,ώστε να καλυφθεί το κενό που υπάρχει μεταξύ της θεμελίωσης και της κεκλιμένης διώρυγας.



## 5. ΤΥΠΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΝ

Η ανάπτυξη του δικτύου ροής μπορεί να προκαλέσει εσωτερική διάβρωση στο αργιλικό υλικό του πυρήνα λόγω ανυπαρξίας ζωνών φίλτρου και ιδιαίτερα όταν η συμπύκνωση του στρώματος αργίλου δεν έχει επιτελεστεί με σωστό τρόπο, οπότε είναι άμεσος ο κίνδυνος να ξεπλυθεί κάποιο τμήμα του και να καταρρεύσει το ανάχωμα.

Για μικρά ύψη φράγματος οι τυπικές διατομές που μπορούν να κατασκευασθούν από σχετικά ομογενή υλικά αργιλικής προέλευσης είναι οι ακόλουθες :



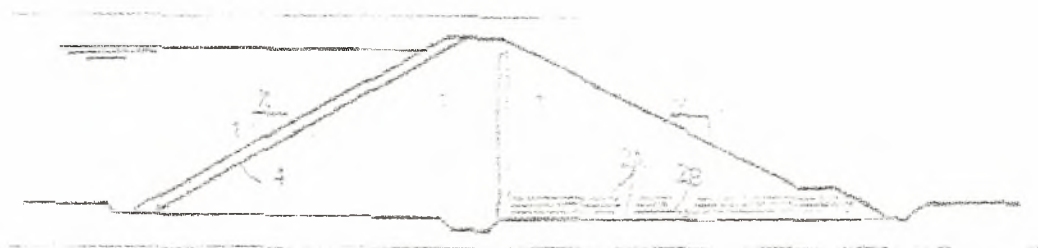
Ομογενές ανάχωμα με τοποθέτηση στραγγιστηρίου ποδός και ζώνες φίλτρου για  $H < 10$  m



Διαζωνισμένο ανάχωμα από αδιαπέρατα-ημιπερατά υλικά (χωρίς φίλτρα) όπου η ζώνη 1-3 είναι σημαντικά πιο περατή από την ζώνη 1. Ο τύπος αυτός του αναχώματος συνίσταται για  $H < 20$  m. Επειδή στον τύπο αυτό του φράγματος απουσιάζουν οι ζώνες ελέγχου της εσωτερικής διάβρωσης, στην πράξη τα αναχώματα αυτά περιορίζονται σε χαμηλότερα ύψη.



Ομογενές ανάχωμα με τοποθέτηση οριζοντίου στραγγιστηρίου για  $H < 10\text{m}$ .



Ομογενές ανάχωμα με τοποθέτηση κατακόρυφου και οριζοντίου στραγγιστηρίου για  $H < 30-50\text{ m}$ .

Εφόσον τα στραγγιστήρια προστατεύονται από ζώνες φίλτρου, υπάρχει ο απαιτούμενος έλεγχος της εσωτερικής διάβρωσης του αναχώματος και της θεμελίωσης.

Το συγκεκριμένο ανάχωμα δεν υπακούει στις προδιαγραφές των παραπάνω τυπικών διατομών οπότε φαίνεται ο κίνδυνος της μη ομαλής λειτουργίας του.

### 5.1 Φράγμα του Λόφου

Ένα παράδειγμα σωστά διαζωνισμένου αναχώματος είναι αυτό στην τοποθεσία του Λόφου. Πρόκειται για ένα ανάχωμα σχετικά μικρού ύψους (περίπου  $10\text{m}$ ) του οποίου ο πυρήνας κατασκευάστηκε από αργιλικό υλικό κατάλληλης συμπίκνωσης, ενώ στα αντερείσματα διαστρώθηκε υλικό λιθορριπής, τόσο ανάντη όσο και κατόντη του ταμιευτήρα.





Στη φωτογραφία φαίνεται το υλικό λιθορριπής που τοποθετήθηκε ανάντη του ταμιευτήρα.



Στην παραπάνω φωτογραφία φαίνεται η τοποθέτηση υλικού λιθορριπής στην κατάντη παρειά του αναχώματος.



Στην φωτογραφία φαίνεται ο εκχειλιστής του έργου αποτρέποντας έτσι την αστοχία του σε περίπτωση μιας πλημμύρας (αστοχία ως προς τη λειτουργία του έργου=υπερχείλιση), ενώ τα δημιουργούμενα πρανή αντιστηρίζονται με σαραζανέτια, όπου εντός αυτών τοποθετούνται κατάλληλοι λίθοι.

Το παραπάνω ανάχωμα πληρεί τις ιδανικές προδιαγραφές μελέτης και κατασκευής ενός μικρού ομογενούς αναχώματος. Είναι διαζωνισμένο με υλικό (2 Α) & (2 Β) (φίλτρο-στραγγιστήριο), τα πρανή του έχουν διαστρωθεί από υλικό λιθορριπής υγιούς βράχου ( $\phi' = 45^{\circ} - 50^{\circ}$ ), ενώ ο αγωγός υδροληψίας που διαπερνά το σώμα του φράγματος έχει τοποθετηθεί κατόπιν εκσκαφής στο υπόστρωμα της θεμελίωσης, που αποτελεί κατά τις προδιαγραφές την αποδεκτή τοποθέτηση του αγωγού δια μέσου του αναχώματος όπως προαναφέρθηκε.



Στην παρακάτω φωτογραφία φαίνεται ο ταμιευτήρας του φράγματος, καθώς αυτός δεν βρίσκεται σε ιδιαίτερα υψηλή στάθμη. Ακόμη διακρίνεται ,από την σχηματιζόμενη οριζόντια διαχωριστική γραμμή ,η ανώτατη στάθμη του ταμιευτήρα σε απόσταση περίπου 2 m από την στέψη του αναχώματος, απόσταση αρκετά μεγάλη, αποτρέποντας έτσι το ενδεχόμενο της υπερχείλισης σε περίπτωση μη ομαλής λειτουργίας του εκχειλιστή.



Στην φωτογραφία φαίνεται η είσοδος για τον εκχειλιστή του έργου.

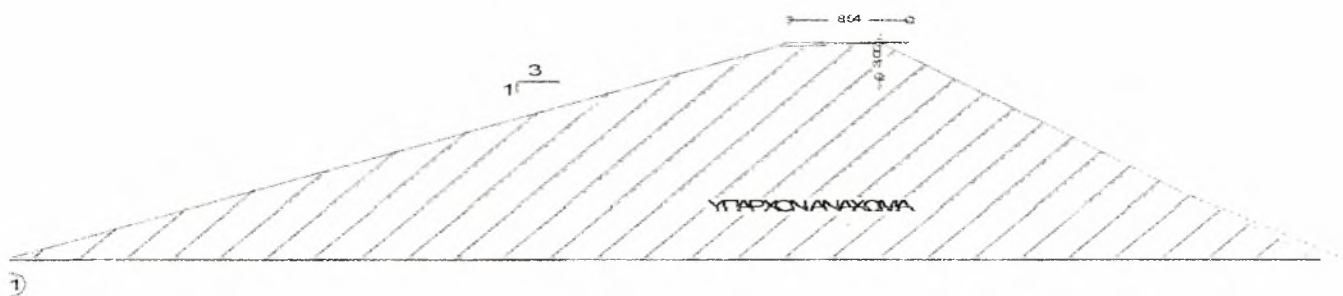
## 6. ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΡΩΝ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ

### 6.1 Επιτόπου έρευνες

Για την μελέτη όλων των παραμέτρων που προαναφέρθηκαν αποφασίσθηκε να εκτελεσθούν **επιτόπου μετρήσεις-έρευνες** που είναι οι εξής:

1) Τοπογραφική αποτύπωση του έργου και των αντερεισμάτων και χάραξη των τυπικών διατομών





### τομή αρχικού αναχώματος

Η κλίση για το ανάντη πρανές εκτιμήθηκε με βάση τα στοιχεία στο ανώτερο τμήμα του λόγω αδυναμίας λήψης στοιχείων στο κατώτερο τμήμα του (καθώς υπήρχε νερό). Η κλίση αυτού είναι της τάξης 3:1, ενώ το κατόντη πρανές έχει κλίση 1,68:1 που χαρακτηρίζεται ιδιαίτερα απότομη για το αργιλικό υλικό κατασκευής.

2) Δειγματοληψία του υλικού κατασκευής για το οποίο εκτελέστηκαν δοκιμές κατάταξης (κοκκομετρία, πλαστικότητα κλπ). Με βάση την δειγματοληψία του υλικού κατασκευής υπήρχε αρχικά ο προβληματισμός εάν το ανάχωμα έπρεπε να καταστραφεί και να επανακατασκευαστεί ή αυτό να διατηρηθεί ως στοιχείο στεγάνωσης και να γίνουν επιπλέον κάποιες ενέργειες βελτίωσής του.

Όσον αφορά την εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών του υλικού κατασκευής, πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές δοκιμές σε σκάμματα υλικού που χρησιμοποιήθηκε ως πυρήνας για ένα φράγμα στην ίδια περιοχή. Δηλαδή όσον αφορά αυτό καθ'αυτό το ανάχωμα, έχουμε έμμεσα στοιχεία για τα μηχανικά του χαρακτηριστικά (συνοχή  $c'$  και γωνία τριβής  $\phi'$ ).

Επιπλέον στο σκάμμα της δειγματοληψίας έγινε προσπάθεια να εκτιμηθεί ο βαθμός συμπύκνωσης, ενώ προγραμματίστηκε η εκτέλεση δοκιμών για τη μέτρηση της διαπερατότητας.

Όσον αφορά την συμπίκνωση του υλικού , πραγματοποιήθηκε δοκιμή Proctor που θα μας καταδείκνυε αν ο βαθμός συμπίκνωσης του υλικού είναι κατάλληλος για την κατασκευή του αναχώματος.

Σύμφωνα με τη δοκιμή αυτή η οποία πραγματοποιείται στο εργαστήριο προκύπτει ένα γράφημα που συνδέει την υγρασία με την ξηρά πυκνότητα του υλικού. Από το διάγραμμα αυτό οι τιμές της βέλτιστης σχετικής υγρασίας ( $W_{opt}$ ) και της μέγιστης ξηράς πυκνότητας ( $\rho_{d\ max}$ ) είναι αυτές που καθορίζουν τα όρια της απαιτούμενης υγρασίας και της απαιτούμενης ξηράς πυκνότητας αντίστοιχα.

$$W_{ap.} = W_{opt} (-+)2\%$$

$$\rho_d = 0,98 * \rho_{d\ max}$$

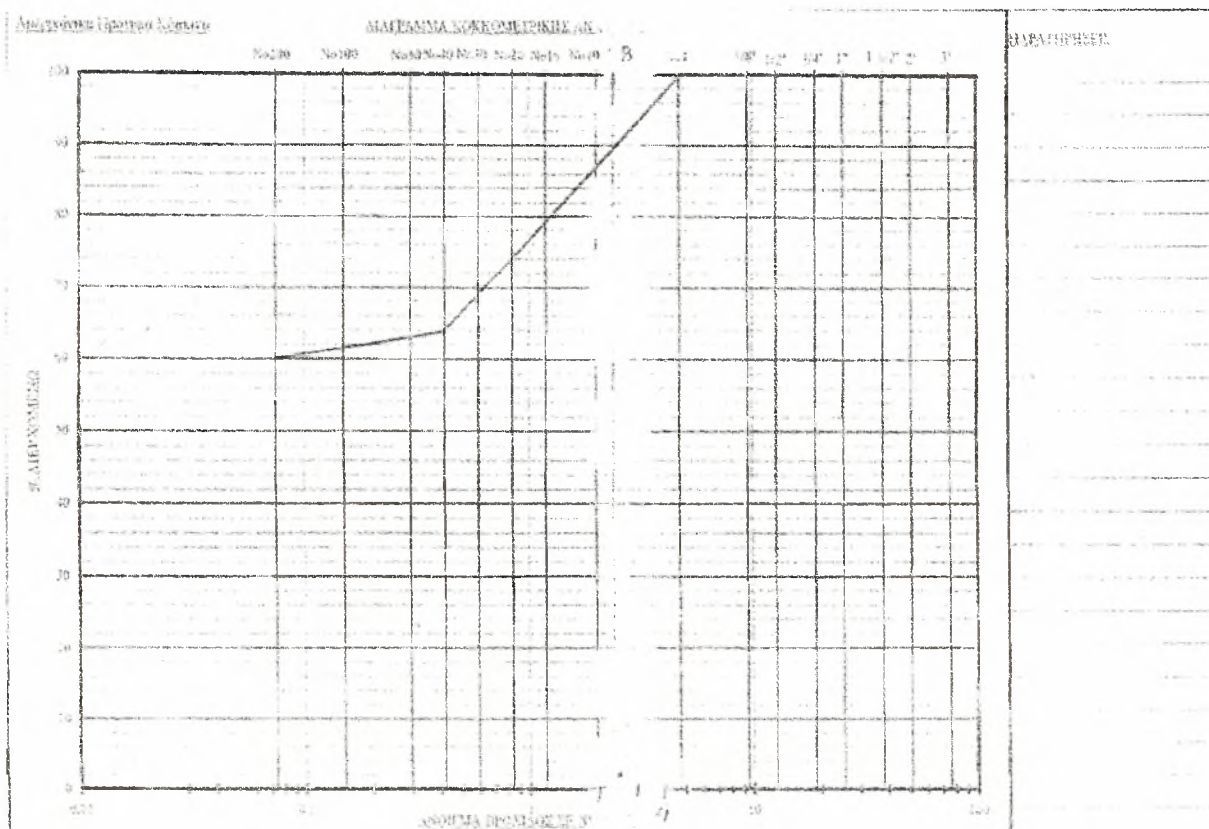
Η τιμή  $\rho_d$  προκύπτει in situ με την μέθοδο του **κώνου άμμου**

Τα παραπάνω όρια ορίζονται ως τα κριτήρια για αποδοχή εάν το υλικό που εξετάζεται εργαστηριακά είναι κατάλληλό για διάστρωση του σώματος του πυρήνα ως προς το βαθμό συμπίκνωσής του.

Η επιλογή του υλικού(δειγματοληψία) που θα χρησιμοποιηθεί ως δοκίμιο στο εργαστήριο γίνεται σε κρίσιμα σημεία για το έργο, σύμφωνα με την αντικειμενικότητα του επιβλέποντα μηχανικού.

Για το συγκεκριμένο ανάχωμα όμως η απ'ευθείας δοκιμή συμπίκνωσης κατά Proctor έδωσε ποσοστό συμπίκνωσης χαμηλότερο από **95%** . Έτσι το υλικό του πυρήνα δεν τηρεί την βασική προδιαγραφή της συμπίκνωσης.





Σύμφωνα με αναλύσεις εργαστηριακών δοκιμών όσον αφορά το υλικό του πυρήνα, φαίνεται ότι αυτό είναι αργιλικό με 60% ποσοστό διερχόμενο στο κόσκινο Νο200. Έτσι το υλικό αυτό κατατάσσεται στην κατηγορία CL (ισχνή άργιλος), με βάση τις κοκκομετρικές καμπύλες.

Όσον αφορά τον απαιτούμενο έλεγχο για τη διαπερατότητα του σώματος του αναχώματος θα πρέπει να ληφθεί κάποιο δείγμα του υλικού στο εργαστήριο και έπειτα από κοκκομετρική κατάταξη του υλικού αυτού μέσω κάποιων σχέσεων προκύπτει η διαπερατότητα. Το ποσοστό διερχόμενων από το κόσκινο Νο200 θα πρέπει να είναι **μεγαλύτερο από 25%** ώστε το υλικό αυτό να χαρακτηρίζεται ως κατάλληλο, ως προς τη διαπερατότητα, για πυρήνας του φράγματος. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την δοκιμή κατά Proctor με την οποία παρουσιάζεται η συμπίκνωση του υλικού του αναχώματος φανερώνουν την καταλληλότητά του.

	K=1	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-12</sup>
Αποστράγγιση	Καλή							Πτωχή		Πρακτικά Αδιαπέρατο			
Διαπερατότητα	Ψηλή			Μεσαία		Χαμηλή		Πολυ Χαμηλή		Αδιαπέρατο			
Τύπος εδάφους	Αμμοχάλικο Λιθορριπή		Καθαρή άμμος		Ρηγματωμένη αποσαθρωμένη άργιλος					Άργιλοι			
	Λεπτόκοκκοι άμμοι												
Δοκιμές	Large CH		Standard CH			FH				FH in octometer			
	PSD						From consolidation data						

Διαπερατότητα m/sec

Στον παραπάνω πίνακα φαίνεται ο χαρακτηρισμός της διαπερατότητας για το υλικό του πυρήνα καθώς και ο τύπος του εδάφους με βάση την κοκκομετρία.

Με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών στο υλικό του αναχώματος και όπως καταδεικνύει η κοκκομετρική καμπύλη το διερχόμενο ποσοστό του υλικού από το κόσκινο Νο200 είναι περίπου 60%.

Όπως διαπιστώθηκε από τη δοκιμή κατά Proctor η σχετική πυκνότητα του υλικού είναι αρκετά χαμηλή (<95%), όμως παρά το γεγονός αυτό προτιμήθηκε να μην επανακατασκευασθεί το ανάχωμα, αλλά να ενισχυθεί. Ο λόγος για τον οποίο προτιμήθηκε η ενίσχυση από την επανακατασκευή είναι κυρίως οικονομικός, εφόσον το κόστος κατασκευής για την δεύτερη περίπτωση θα ήταν αρκετά υψηλό. Ακόμη λόγω της μικρής σημασίας του ταμιευτήρα (μικρός όγκος, ανυπαρξία κατάντη υποδομών) προτιμήθηκε να διαστρωθεί το υπάρχων τμήμα του αναχώματος και να ενισχυθεί αντί να επανακατασκευασθεί.

Έτσι διατηρήθηκε ως αδιαπέρατο στοιχείο το αργιλικής σύστασης ανάχωμα και αποφασίσθηκε να αντιμετωπισθούν οι διαρροές μέσω του σώματός του με κατάλληλη διαμόρφωση κατάντη ζωνών φίλτρου & στραγγιστηρίου.



## 7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ (Βελτίωσης του αναχώματος)

### 7.1 Έλεγχοι ευστάθειας

Καταρχήν με τις δεδομένες κλίσεις του αναχώματος έγινε έλεγχος της ευστάθειας για το κατάντη πρανές.(1:1,68) υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Με τη χρήση του προγράμματος XSTABL εκτιμήθηκε ο συντελεστής ασφαλείας σε ολίσθηση με τη μέθοδο των ενεργών τάσεων και λαμβάνοντας υπόψη την πίεση πόρων του νερού που θα αναπτυχθεί σε συνθήκες μόνιμης λειτουργίας.

Για τον προσδιορισμό του συντελεστή ασφαλείας του αναχώματος στην ήδη υπάρχουσα κατάσταση, χρησιμοποιήθηκαν τιμές των μηχανικών χαρακτηριστικών της αργίλου  $\phi'$  και  $c'$  από την υπάρχουσα εμπειρία και βιβλιογραφία, αλλά και από εργαστηριακές τιμές που ελήφθησαν σε δοκιμές υλικών κατασκευής έργων της περιοχής.(π.χ. μεγάλο φράγμα Λιβαδίου  $\phi' = 25^0$  και  $c' = 10$  Kpa ενώ για το φράγμα Αγιονερίου είναι  $\phi' = 20-25^0$ .) Τα φράγματα του Λιβαδίου και του Αγιονερίου είναι γειτονικές κατασκευές, οπότε εκτιμάται ότι για το συγκεκριμένο έργο οι τιμές των μηχανικών χαρακτηριστικών δεν θα αποκλίνουν σημαντικά από αυτές των δύο γειτονικών φραγμάτων. Για το συγκεκριμένο έργο λαμβάνεται υπόψη  $\phi' = 20^0$ , λόγω όχι ιδιαίτερα ικανοποιητικής συμπίκνωσης.

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία και για πλήρη ανάπτυξη του δικτύου ροής, ο συντελεστής ασφαλείας έχει τιμές σαφώς χαμηλότερες της μονάδος στην περίπτωση του αναχώματος με κατάντη κλίση πρανούς 2:1 (πραγματική κλίση 1,68:1) και απουσία ζωνών στραγγιστηρίου – φίλτρου.

Γίνεται σαφές ότι για την επίτευξη ικανοποιητικού συντελεστή ασφαλείας, (πρόσδωση επαρκούς ευστάθειας για το έργο), είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθούν ορισμένες ενισχύσεις ως **μέτρα σταθεροποίησης**, ώστε ο συντελεστής ασφαλείας σε θραύση να είναι ικανοποιητικός για όλους τους συνδιασμούς φόρτισης.

Για τον έλεγχο της ευστάθειας στο συγκεκριμένο ανάχωμα χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι της εδαφομηχανικής π.χ. **Bishop, Jambu**, κ.λ.π.

Περιγραφή περίπτωσης	Προτεινόμενη τιμή συντελεστή ασφαλείας
Εξοκαφές επιχώματα (όχι φράγματα)	Sowers, 1970 1,30 – 1,40
Χωμάτινα φράγματα	> 1,50
- Βάση κατασκευής	1,30
Χωμάτινα φράγματα – Συνήθειες συνθήκες λειτουργίας	1,50
- Απότομη εκκένωση (ροή προς τ' ανάντη) Dun et al	1,30

Στον πίνακα φαίνονται οι αποδεκτές τιμές για τον συντελεστή ασφαλείας για διαφόρου τύπου χωμάτινο φράγμα.

## 7.2 Μέτρα σταθεροποίησης

- Ένας τρόπος ώστε να “βελτιωθεί” το υπάρχων ανάχωμα είναι η επίχωση του κατάντη πρανούς, ώστε αυτό να έχει πιο ήπια κλίση σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία. Η επίχωση θα γίνει με κάποιο υλικό αρκετά πιο διαπερατό από αυτό του πυρήνα με μεγαλύτερη γωνία τριβής. Το υλικό αυτό ενδέχεται να προέρχεται από βραχώδεις εκσκαφές (υλικό 3 λιθοριππή) και διαστρώνεται στην κατάντη παρειά του αναχώματος ώστε να επιτευχθεί μια επιθυμητή ήπια κλίση της τάξεως του 1:2,5.
- Θα πρέπει να ελεγχθεί εάν η διαπερατότητα του υλικού του πυρήνα είναι αρκετά μεγάλη ώστε να επιτρέπει το νερό του ταμιευτήρα να διαφεύγει δια μέσω του σώματος του αναχώματος και να προκαλείται πτώση της στάθμης του ταμιευτήρα. Σε μια τέτοια περίπτωση δεν έχει ουσιαστικό ρόλο ύπαρξης το ανάχωμα αφού σκοπός του είναι η συγκράτηση της στάθμης του ταμιευτήρα σε επιθυμητό επίπεδο. Από παρατηρήσεις όμως που αφορούν την λειτουργία του ταμιευτήρα κατά τα τελευταία χρόνια δεν διαπιστώθηκε άδειασμα της λίμνης, συνεπώς γενικά πληρούται η συνθήκη της στεγανότητας.
- Τοποθέτηση ζωνών φίλτρου ώστε οι διαρροές να διοχετεύονται με ασφάλεια μέσω του αργιλικού πυρήνα χωρίς να υπάρχει ο κίνδυνος της εσωτερικής διάβρωσης. Οι ζώνες φίλτρου θα παρεμβληθούν μεταξύ του υλικού επίχωσης (λιθοριππή 3) και του υπάρχοντος αναχώματος.

Πραγματοποιούνται για τη συνέχεια διάφοροι υπολογισμοί ευστάθειας με βάση τη σχέση των **Bishop & Morgenstern**  $FS = m - n \cdot r_u$  όπου οι τιμές των  $m, n$  λαμβάνονται από πίνακα συναρτήσεων των μεγεθών  $\phi', c'$  και την κλίση του υπό εξέταση πρανούς. Ο συντελεστής  $r_u$  είναι ο συντελεστής της πίεσης πόρων και απεικονίζει το λόγο της πίεσης πόρων στο σημείο του αναχώματος που περνάει ο κύκλος ολίσθησης,  $r_u = u / (\gamma h)$ . Πρέπει  $r_u < 0,5$ . Οι παρακάτω υπολογισμοί ισχύουν για το κατάντη πρανές με πλήρη ανάπτυξη του δικτύου ροής. Οπότε προκύπτει ο πίνακας :

Κατάντη πρανές H=20m c'=10kpa			
κλίση πρανούς	$\phi'$	FS $r_u=0,4$	FS $r_u=0,2$
2:1	17,5	0,65	
	20	0,71	
	22,5	0,78	
3:1	17,5	0,908	1,14
	20	1	1,27
	22,5	1,1	1,4

Έχοντας ήδη εξετάσει την ευστάθεια του υπάρχοντος αναχώματος ,δηλαδή χωρίς την παρεμβολή ζωνών φίλτρου-στραγγιστηρίου και με ' κατάντη κλίση 1:1,68 διαπιστώνουμε ότι ο συντελεστής ασφαλείας κυμαίνεται μεταξύ 0,65-1,008 για τις διάφορες στάθμες του ταμιευτήρα. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει ότι υπάρχει επιτακτική ανάγκη εφαρμογής μέτρων υποστήριξης.

Από τις διάφορες δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν διαπιστώθηκε ότι για να επιτευχθεί ικανοποιητικός συντελεστής ασφαλείας (FOS =1,5) απαιτείται η κατάντη κλίση να μορφωθεί πιο ήπια ,της τάξης 1:3 ,με ταυτόχρονη ενσωμάτωση ζωνών στραγγιστηρίου για τον έλεγχο της ροής (μείωση της πίεσης πόρων του νερού).

Με βάση πάντα τους υπολογισμούς ευστάθειας παρατηρήθηκε ότι με την παρεμβολή των ζωνών 2 A & 2 B (φίλτρο & στραγγιστήριο) μεταξύ του υπάρχοντος και του νέου αναχώματος , που συνεπάγεται την πτώση του συντελεστού πίεσης πόρων  $r_u$  (από 0,4 μεταπίπτει σε 0,2), ο συντελεστής ασφαλείας λαμβάνει σαφώς μεγαλύτερες τιμές προς την πλευρά της ασφάλειας μεταπίπτει δηλαδή από 0,8 σε 1,45 .Έτσι καταφέρνουμε να επιτύχουμε την επιθυμητή για το έργο ευστάθεια.

Η παραπάνω μέθοδος των Bishop & Morgenstern απαιτεί κάθε φορά την γραφική απεικόνιση του συντελεστή  $r_u$  γεγονός που μπορεί να επιφέρει σφάλματα κατά τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας.

Έτσι για περισσότερη ακρίβεια στις αναλύσεις ευστάθειας υιοθετήθηκε η χρήση του προγράμματος XSTABL που θα υπολογίσει με ακριβέστερο τρόπο τον συντελεστή ασφαλείας για κάθε συνθήκη λειτουργίας του έργου.

Παρακάτω φαίνονται οι υπολογισμοί της ευστάθειας με τη χρήση του υπολογιστικού προγράμματος XSTABL που προσφέρει έναν πιο **ασφαλή** προσδιορισμό του συντελεστή ασφαλείας για διάφορες συνθήκες λειτουργίας του αναχώματος.

### Υπολογισμοί της ευστάθειας με το πρόγραμμα XSTABL

Με βάση τις αναλύσεις ευστάθειας με τη βοήθεια του προγράμματος XSTABL καταρτίζεται ο ακόλουθος πίνακας.

Πίνακας 1

Κατάντη πρανές H=20m c'=0kpa			
κλίση πρανούς	$\phi'$	FS με πλήρωση του ταμιευτήρα	FS με άδειασμα της λίμνης.
2:1	17,5	0,532	0,624
	20	0,613	0,720
	22,5	0,698	0,819
3:1	17,5	0,884	0,896
	20	1,020	1,034
	22,5	1,116	1,177

Από τις αναλύσεις ευστάθειας φαίνεται όπως άλλωστε αναμενόταν, ότι το ανάχωμα δεν παρουσιάζει ικανοποιητική ευστάθεια με κατάντη κλίση πρανούς 2:1, αφού ο συντελεστής ασφαλείας κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,532-0,819. Οπότε αποδυναμώνεται ότι η ανάγκη ενίσχυσης για το ανάχωμα είναι επιτακτική.

Ύστερα από την ενίσχυση του αναχώματος με την τοποθέτηση υλικού λιθορριπής (υλικό ζώνης 3  $c'=0$  Kpa και  $\phi'=40^0$ ) και ζώνης φίλτρου στο κατάντη πρανές, ο συντελεστής ασφαλείας λαμβάνει υψηλότερες τιμές (0,884-1,177) όπως φαίνεται στον πίνακα χωρίς όμως να προσδίδει ικανοποιητική ασφάλεια για την κατασκευή αφού οι



περισσότερες τιμές για τον συντελεστή ασφαλείας βρίσκονται κάτω από την τιμή 1. Στην συνέχεια πραγματοποιείται παραμετρική ανάλυση εφόσον υπεισέρχονται στους υπολογισμούς διαφορετικές τιμές για τις παραμέτρους  $c'$  και  $\phi'$ . Έτσι εξετάζεται η ευστάθεια του κατάντη πρανού για τιμές της συνοχής  $c'=5$  Kpa και 10 Kpa για το υλικό του πυρήνα, που σαφώς αυτές οι τιμές θεωρούνται περισσότερο συμβατές για το αργιλικό υλικό του σώματος.

### 7.3 Παραμετρική Ανάλυση

Βέβαια οι παραπάνω υπολογισμοί ευστάθειας αφορούν το ανάχωμα χωρίς να έχει ληφθεί ιδιαίτερη μέριμνα για την τιμή της συνοχής  $c'$  αφού αυτή δεν εκτιμήθηκε επί τόπου από το έργο αλλά από μια γειτονική κατασκευή. Έτσι θα πρέπει να πραγματοποιηθούν εκ νέου αναλύσεις ευστάθειας με διάφορες τιμές  $c'$  με πιο χαρακτηριστικές αυτές των 0, 5, 10 Kpa που καλύπτουν ενδεχομένως κάθε πιθανή τιμή που αντιπροσωπεύει την συνοχή για το αργιλικό υλικό του πυρήνα του συγκεκριμένου έργου με **επικρατέστερη τιμή** εκείνη των **10 Kpa**, καθώς μια τιμή της συνοχής  $c'$  μεταξύ των ορίων 0-5 Kpa δεν αντιπροσωπεύει αργιλικό υλικό αλλά ένα άλλο ιδιαίτερα μαλακό υλικό π.χ. άμμο.

Για  $c'=0$  Kpa προκύπτει ο ήδη αναφερθέν πίνακας με όχι ιδιαίτερα ικανοποιητικά αποτελέσματα για τον συντελεστή ασφαλείας ύστερα από την ενίσχυση του αναχώματος. ( $F.O.S=0,884-1,177$ ) για διάφορες τιμές της γωνίας τριβής  $\phi'$ .

Για  $c'=5$  Kpa και σύμφωνα με τους υπολογισμούς της ευστάθειας προκύπτει ο παρακάτω πίνακας τιμών για τον συντελεστή ασφαλείας που αφορά πάντα το υπό κατασκευή κατάντη πρανές (οι κύκλοι ολίσθησης αφορούν αποκλειστικά τον κατάντη πόδα του φράγματος).

**Πίνακας2**

Κατάντη πρανές H=20m $c'=5$ kpa			
κλίση πρανούς	$\phi'$	FS με πλήρωση του ταμιευτήρα	FS με άδειασμα της λίμνης.
3:1	17,5	1,009	1,074
	20	1,146	1,213
	22,5	1,288	1,357

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει το συμπέρασμα ότι μετά την ενίσχυση του αναχώματος με την τοποθέτηση ζώνης λιθορριπής 3B& 3C και φίλτρου-στραγγιστηρίου και για την δεδομένη τιμή της συνοχής, ο συντελεστής ασφαλείας κυμαίνεται σε σχετικά ικανοποιητικά επίπεδα μεταξύ των τιμών 1-1,4 αποτρέποντας έτσι σε κάποιο βαθμό το ενδεχόμενο της αστοχίας. Ενδεχόμενο αστοχίας θα είχαμε σε περίπτωση που ο συντελεστής ασφαλείας λάμβανε εύρος τιμών κάτω από την τιμή 1 όπως άλλωστε συνέβη με την υπόθεση εργασίας που έγινε πρωτίστως υιοθετώντας τιμή συνοχής για το αργιλικό υλικό του πυρήνα **0 Kpa**, που όπως προαναφέραμε δεν αντιπροσωπεύει ένα αργιλικό υλικό έστω και αμμώδες. Από τους υπολογισμούς ακόμη καταδεικνύεται ότι διατηρώντας την στάθμη του ταμιευτήρα χαμηλά η ευστάθεια είναι ιδιαίτερος ικανοποιητική ( $FOS=1,3$  χαρακτηριστική τιμή), συνθήκη που επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση φίλτρου και στραγγιστηρίου εσωτερικά του αναχώματος.

Για  $c'=10$  Kpa όπως και πριν προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας.

**Πίνακας3**

Κατάντη πρανές $H=20m$ $c'=10kpa$			
κλίση πρανούς	$\Phi'$	FS με πλήρωση του ταμιευτήρα	FS με άδειασμα της λίμνης.
3:1	17,5	1,130	1,245
	20	1,267	1,385
	22,5	1,408	1,529

Παρατηρούμε κατά τους υπολογισμούς όταν η τιμή της συνοχής λαμβάνεται  $c'=10$  Kpa, που αποτελεί την πιο αντιπροσωπευτική τιμή για το αργιλικό υλικό του πυρήνα, ο συντελεστής ασφαλείας λαμβάνει ικανοποιητικές τιμές (1,130-1,529) εξαιρέοντας έτσι το ενδεχόμενο της αστοχίας. Ο βέλτιστος συντελεστής ασφαλείας όπως προέκυψε από την παραμετρική ανάλυση είναι  $FOS=1,529$  και προκύπτει για χαρακτηριστικές ιδιότητες του υλικού  $c'=10$  Kpa και  $\phi'=22,5^\circ$  που καταδεικνύουν ένα ικανοποιητικό, για την κατασκευή πυρήνα, αργιλικό υλικό που είναι συμβατό με το δεδομένο υλικό για το συγκεκριμένο έργο.

Συγκεντρωτικά, αν αθροίσουμε τα αποτελέσματα των αναλύσεων από τους πίνακες 1,2,3 παρατηρούμε ότι εφόσον έχουμε καλύψει τις πιθανές τιμές για τη συνοχή ( $c'=0-10$  Kpa) και για τις διάφορες στάθμες του νερού του ταμιευτήρα, ο συντελεστής ασφαλείας βρίσκεται σε ικανοποιητικά επίπεδα για χαμηλή στάθμη του ταμιευτήρα και για τιμή



της συνοχής  $c'=10$  Kpa ,ενώ οι υποθέσεις που έγιναν για τιμές της συνοχής 0 και 5 Kpa δεν εξασφαλίζουν στο έργο πλεόνασμα ασφαλείας.

Επίσης θα πρέπει να αναφερθεί και ότι η τιμή της γωνίας τριβής  $\phi'$  συμβάλλει σημαντικά στον προσδιορισμό του συντελεστή ασφαλείας κατά τρόπον ώστε αύξηση της γωνίας τριβής να συνεπάγεται ταυτόχρονη αύξηση του συντελεστή. Το εύρος τιμών για τη γωνία βρίσκεται μεταξύ των τιμών  $17,5^0 - 22,5^0$  αφού όπως έχει ήδη αναφερθεί δεν έχουμε άμεσα στοιχεία (εργαστηριακά) για τον προσδιορισμό της. Ενδέχεται η τιμή της γωνίας της διατμητικής αντοχής να λαμβάνει και μεγαλύτερες τιμές εφόσον το αργιλικό υλικό περιλαμβάνει και λεπτόκκοκα (αμμώδης άργιλος). Έτσι δεν αποκλείεται η υπόθεση εργασίας για  $\phi'=25^0$  για το υλικό του πυρήνα. Επικρατέστερη τιμή όμως για την τιμή της γωνίας είναι εκείνη των  $22,5^0$  τιμή που προσδιορίσθηκε εργαστηριακά από ένα ανάλογο έργο της ίδιας περιοχής (φράγμα Αγιονερίου  $\phi'=22,5^0$ ).

Τα παραπάνω σενάρια φόρτισης αφορούν την επίχωση του κατήντη πρανούς με υλικό λιθορριπής 3B&3C ως άμεσο μέτρο ενίσχυσης για το ανάχωμα. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του υλικού αυτού ελήφθησαν  $\phi'=40^0$  και  $c'=0$  Kpa. Στην περίπτωση που το υλικό επίχωσης δεν είναι λιθορριπή αλλά αμμοχάλικο έχουμε σαφώς μεταβολή των μηχανικών χαρακτηριστικών και ιδιαίτερα της γωνίας τριβής  $\phi'$ . Με βάση τις προδιαγραφές για το υλικό επίχωσης κατάλληλο κρίνεται εκείνο το υλικό για το οποίο ισχύει  $\phi' > 40^0$  (π.χ.  $\phi'=45^0$ ). Όταν το υλικό επίχωσης καταδεικνύει μηχανικά χαρακτηριστικά  $\phi' < 40^0$  και  $c'=0$  Kpa (π.χ.  $\phi'=37,5^0$ ), πρόκειται για «βρώμικη» λιθορριπή (αμμοχάλικο) υλικό ενός όχι ιδιαίτερα υγιούς βράχου.

Με βάση λοιπόν ότι το υλικό επίχωσης δεν είναι λιθορριπή αλλά αμμοχάλικο  $\phi'=37,5^0$  καταρτίζεται ο ακόλουθος πίνακας για τον προσδιορισμό της ευστάθειας της κατασκευής.

**Πίνακας4**

Κατάντη πρανές H=20m $c'=0$ kpa			
κλίση πρανούς	$\Phi'$	FS με πλήρωση του ταμιευτήρα	FS με άδειασμα της λίμνης.
3:1	17,5	0,884	0,896
	20	1,020	1,034
	22,5	1,161	1,177

Για την τιμή της συνοχής  $c'=0$  Kpa και για διάφορες τιμές της γωνίας τριβής ( $\phi'=17,5^0-22^0$ ) ο συντελεστής ασφαλείας δεν αλλάζει σε σχέση με τις τιμές που υπολογίσαμε για την αρχική τιμή της γωνίας ( $\phi'=40^0$ ) για την λιθορριπή, γεγονός που μας καταμαρτυράει ότι το υλικό επίχωσης στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν χρειάζεται να είναι απαραίτητα υλικό λιθορριπής αυστηρών προδιαγραφών, αλλά οποιοδήποτε περατό υλικό της τάξεως του αμμοχάλικου. Πράγματι για το συγκεκριμένο έργο το υλικό επίχωσης που διαστρώθηκε δεν αποτελεί λιθορριπή αλλά ένα ενδιάμεσο υλικό μεταξύ λιθορριπής και αμμοχάλικου, ώστε αυτό ενσωματωμένο με το φίλτρο (2 A)&(2 B) να αποτελεί ένα ενιαίο υλικό επίχωσης μεγάλης διαπερατότητας.

Εξετάζοντας τις τιμές της συνοχής  $c'$  στο σώμα του αναχώματος με την υπόθεση εργασίας ότι το υλικό επίχωσης είναι “βρώμικη” λιθορριπή, έχουμε τους ακόλουθους πίνακες.

**Πίνακας5**

Κατάντη πρανές H=20m $c'=5$ kpa			
Κλίση πρανούς	$\phi'$	FS με πλήρωση του ταμιευτήρα	FS με άδειασμα της λίμνης.
3:1	17,5	1,009	1,074
	20	1,146	1,213
	22,5	1,288	1,357

Παρατηρούμε όπως και πριν ότι μεταβολή στην γωνία διατμητικής αντοχής του υλικού επίχωσης δεν οδηγεί σε διαφορετικά αποτελέσματα, όπως άλλωστε αναμενόταν. Έτσι για  $\phi'=37,5^0$  ο συντελεστής ασφαλείας δεν διαφέρει με εκείνον που προκύπτει για  $\phi'=40^0$ . Για μεγαλύτερη τιμή της συνοχής ( $c'=10$  Kpa), έχουμε τα εξής αποτελέσματα

**Πίνακας5**

Κατάντη πρανές H=20m $c'=10$ kpa			
Κλίση πρανούς	$\phi'$	FS με πλήρωση του ταμιευτήρα	FS με άδειασμα της λίμνης.
3:1	17,5	1,130	1,245
	20	1,267	1,385
	22,5	1,408	1,529

Ομοίως ο παραπάνω πίνακας μας καταδεικνύει ότι για την τιμή της συνοχής  $c'=10$  Kpa στο σώμα του αναχώματος και για γωνία τριβής  $\phi'=37,5^0$  του υλικού επίχωσης, ο συντελεστής ασφαλείας παραμένει σε ικανοποιητικά επίπεδα

Συμπερασματικά μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι το ανάχωμα ύστερα από την ενίσχυσή του (επίχωση υλικού λιθορριπής και τοποθέτηση ζώνης φίλτρου-στραγγιστηρίου), παρουσιάζει ικανοποιητική ευστάθεια για τιμή της συνοχής  $c'=10$  Kpa και γωνία τριβής για το υλικό πυρήνα  $\phi'=20-25^0$ . Στην περίπτωση αυτή ο συντελεστής ασφαλείας είναι της τάξεως του 1,5 που όπως αναφέρθηκε είναι ο απαιτούμενος συντελεστής ασφαλείας για φράγματα χωμάτινου τύπου.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι ενώ οι αναλύσεις ευστάθειας για το ήδη υπάρχον έργο κατέδειξαν έναν δυσμενή για την ευστάθεια συντελεστή ασφαλείας ( $F.O.S < 1,4$ ), δεν πραγματοποιήθηκε μέχρι σήμερα αστοχία του αναχώματος. Ο λόγος είναι ότι η στάθμη της λίμνης του ταμιευτήρα κατορθώθηκε να διατηρηθεί σε χαμηλά επίπεδα οπότε στις πλείστες των περιπτώσεων ο συντελεστής ασφαλείας ξεπερνούσε την τιμή 1 ή βρισκόταν πολύ κοντά στην τιμή αυτή, όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα για  $c'=10$  Kpa και  $\phi' (20-25^0)$

Κατάντη πρανές $H=20m$ $c'=10kpa$			
(αρχικό)			
Κλίση πρανούς	$\phi'$	FS με πλήρωση του ταμιευτήρα	FS με άδειασμα της λίμνης.
2:1	17,5	0,800	0,956
	20	0,887	1,064
	22,5	0,976	1,172

Το ενδεχόμενο μιας πλήρωσης της λίμνης θα είχε σαφώς δυσμενείς συνέπειες για την κατασκευή, όπως άλλωστε κατέδειξαν οι αναλύσεις ευστάθειας. Για τον λόγο λοιπόν αυτό, αποφασίσθηκε ότι το συγκεκριμένο έργο δεν είναι ασφαλές στην υπάρχουσα κατάσταση αλλά χρειάζεται άμεσα μέτρα σταθεροποίησης.

Για τιμή της συνοχής  $c'=0$  Kpa στο αρχικό ανάχωμα προκύπτει ο παρακάτω πίνακας τιμών του συντελεστή ασφαλείας

		Κατάντη πρανές $H=20m$ $c'=0kpa$	
		(αρχικό)	
Κλίση πρανούς	$\varphi'$	FS με πλήρωση του ταμιευτήρα	FS με άδειασμα της λίμνης.
2:1	17,5	0,532	0,624
	20	0,613	0,720
	22,5	0,698	0,819

Από τον πίνακα φαίνεται ότι καμία από τις παραπάνω τιμές του συντελεστή ασφαλείας δεν ξεπερνάει την τιμή 1 γεγονός που συνεπάγεται ότι υπό την αυτήν τιμή της συνοχής  $c'$  το ανάχωμα πριν από την ενίσχυσή του θα αστοχούσε, γεγονός που κατά το παρελθόν Δε συνέβη. Έτσι λοιπόν συμπερασματικά μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η τιμή της συνοχής  $c'=0$  Kpa δεν αποτελεί πραγματική χαρακτηριστική ιδιότητα του υλικού του πυρήνα, αλλά χρησιμοποιήθηκε κατά τους υπολογισμούς ευστάθειας ως δυσμενές σενάριο φόρτισης.

Όμοια θεώρηση μπορούμε να κάνουμε και για την τιμή της συνοχής  $c'=5$  Kpa όπως φαίνεται από τον ακόλουθο πίνακα

		Κατάντη πρανές $H=20m$ $c'=5kpa$	
		(αρχικό)	
Κλίση πρανούς	$\varphi'$	FS με πλήρωση του ταμιευτήρα	FS με άδειασμα της λίμνης.
2:1	17,5	0,679	0,813
	20	0,764	0,913
	22,5	0,853	1,016

Συμπερασματικά μπορούμε, με κάθε βέβαια επιφύλαξη, να υποθέσουμε ότι η πλέον παραδεκτή τιμή της συνοχής για τον αργιλικό πυρήνα είναι  $c'=10$  Kpa καθώς μόνο υπό αυτήν την τιμή, σύμφωνα με τις αναλύσεις ευστάθειας δεν παρουσιάστηκε τιμή του συντελεστή υπό της τιμής 1. Θα μπορούσαμε στο σημείο αυτό να υποθέσουμε ότι μια συντηρητική παραδοχή των παραμέτρων θα είναι  $c'=7$  Kpa και  $\varphi'=20^\circ$ .



Παραπάνω έγινε η εκτίμηση του συντελεστή ασφαλείας για το κατάντη πρανές αφού οι σχηματιζόμενοι κύκλοι ολίσθησης αφορούσαν αποκλειστικά την κατάντη παρειά του αναχώματος. Εύλογα τοποθετείται το ερώτημα εάν το **ανάντη πρανές** παρουσιάζει ικανοποιητική ευστάθεια. Η ασφάλεια για το **ανάντη τμήμα** εξασφαλίζεται με την επίτευξη της τιμής του συντελεστού ασφαλείας κοντά στην τιμή 1,1 και αφορά τον απότομο καταβιβασμό της λίμνης του ταμιευτήρα ,ενώ η γραμμή ροής τόσο στα ανάντη τόσο και στο σώμα του αναχώματος παραμένει αρκετά υψηλά.(Το ανάχωμα θεωρείται **κορεσμένο**)

Από αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος **XSTABL** με προτεινόμενες παραμέτρους αντοχής  $c'=10$  Kpa και  $\phi'=17,5^0 -22,5^0$  προκύπτουν οι ακόλουθες τιμές για τον συντελεστή ασφαλείας

Ανάντη πρανές H=20m c'=10 kpa		
Κλίση πρανούς	$\Phi'$	FS για γρήγορο καταβιβασμό της λίμνης
3:1	17,5	0,921
	20	1,020
	22,5	1,122

Από τον παραπάνω πίνακα διακρίνουμε ότι ο επιθυμητός συντελεστής ασφαλείας ( $F.S=1,1$ ) του ανάντη πρανούς για γρήγορο καταβιβασμό της λίμνης επιτυγχάνεται για τιμή της γωνίας διατμητικής αντοχής μεταξύ των τιμών  $20^0$  και  $25^0$  τιμές που άλλωστε αντιπροσωπεύουν ρεαλιστικά το έργο. Η τιμή της συνοχής που χρησιμοποιήθηκε για τους υπολογισμούς ευστάθειας του ανάντη πρανούς είναι αυτή των 10 Kpa καθώς με τα όσα ήδη αναφέρθηκαν θεωρείται ως η πιο αντιπροσωπευτική τιμή της συνοχής για το συγκεκριμένο αργιλικό ανάχωμα. Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται με την υιοθέτηση των τιμων 0 και 5 Kpa για το μέγεθος της συνοχής ,προσδίδουν σαφώς στον συντελεστή ασφαλείας τιμές κατω από την τιμή 1 και στον κατασκευαστή την αίσθηση της ανησυχίας για ενδεχόμενη αστοχία.Όμως μια τέτοια υπόθεση εργασίας κρίνεται ιδιαίτερα συντηρητική.

Τέλος, ο έλεγχος έναντι **σεισμικής δράσης** πραγματοποιείται σύμφωνα με τις διατάξεις του Ν.Ε.Α.Κ.-2000. Σύμφωνα με τον κανονισμό (Ε.Α.Κ.2000 παρ.5.4.3), το πρανές ενός αναχώματος κρίνεται ικανοποιητικά ευσταθές, όταν γι'αυτό ισχύει  $F.S=1,00$  .Παρακάτω φαίνεται ο ανάλογος πίνακας υπολογισμού του συντελεστή ασφαλείας λαμβάνοντας υπ'οψην ότι για την υπό εξέταση περιοχή η ζώνη σεισμικής

επικινδυνότητας είναι ΙΙΙ , κατά τους υπολογισμούς λαμβάνεται η τιμή της οριζόντιας σεισμικής επιτάχυνσης  $a_x=0,098 \text{ m/s}^2$  (10% g) ενώ η κατακόρυφη συνιστώσα της επιτάχυνσης δεν λαμβάνεται υπ' όψην κατά τη φόρτιση.

Κατάντη πρανές H=20m c'=10 kpa		
Κλίση πρανούς	$\Phi'$	FS για σεισμό
3:1	17,5	0,895
	20	1,003
	22,5	1,115

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι ο συντελεστής ασφαλείας για την τιμή της συνοχής  $c'=10 \text{ Kpa}$  είναι ικανοποιητικός για τιμές της γωνίας τριβής  $\phi'=20^0-25^0$  , εφόσον αυτός ξεπερνά την τιμή 1.Όπως άλλωστε προαναφέρθηκε η τιμή  $\phi'=22,5^0$  για το ανάχωμα είναι η πιο αξιόπιστη τιμή για το σχεδιασμό.

### 3. ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ



Με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων –παραδοχών είναι αναγκαία η υιοθέτηση μιας τυπικής διατομής για την ενίσχυση και την εξασφάλιση του υπάρχοντος αναχώματος.

Στην πραγματικότητα θα αντιστηριχθεί το υπάρχον ανάχωμα στο κατάντη πρανές του από υλικά της περιοχής, ώστε η κλίση του νέου κατάντη πρανούς να είναι 1:3 ,που θα επιφέρει τον επιθυμητό συντελεστή ασφαλείας. Η επίχωση του κατάντη πρανούς γίνεται με υλικά της ζώνης 3.(λιθορριπή που προσφέρει ευστάθεια,κατάλληλο υλικό για επίχωση πρανών). Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του νέου αυτού υλικού εκτιμώνται :  $\phi = 40^{\circ}$  και  $c = 0$  kpa πρόκειται δηλαδή για **μη συνεκτικό υλικό**.

Οι ζώνες ελέγχου της εσωτερικής ροής 2A & 2B με πάχος 1m θα κατασκευάζονται παράλληλα με την κατάντη ζώνη 1 ώστε να εγκιβωτίζονται.

Οι ζώνες αυτές (φίλτρο και στραγγιστήριο) θα διαστρωθούν στο υπάρχων πρανές δηλαδή με κλίση 1:1,68 ύστερα από ελαφρύ και επιφανειακό καθαρισμό του φυτικού του καλύμματος και μετά από συμπύκνωση μέσω ελαστικοφόρου φορτωτή. Όσον αφορά τη θεμελίωση θα διαστρωθεί οριζόντια στρώση του υλικού 2A στη θεμελίωση του κατάντη πρανούς ύστερα από ελαφρύ καθαρισμό, ώστε να ελεγχθεί η πίεση πόρων. Επιπρόσθετα θα εκσκαφτεί τάφρος, η οποία θα ελέγχει την υπόγεια ροή σε βάθος 4m γεμάτη από υλικό φίλτρου 2A.

### 8.1 Σχεδιασμός φίλτρων

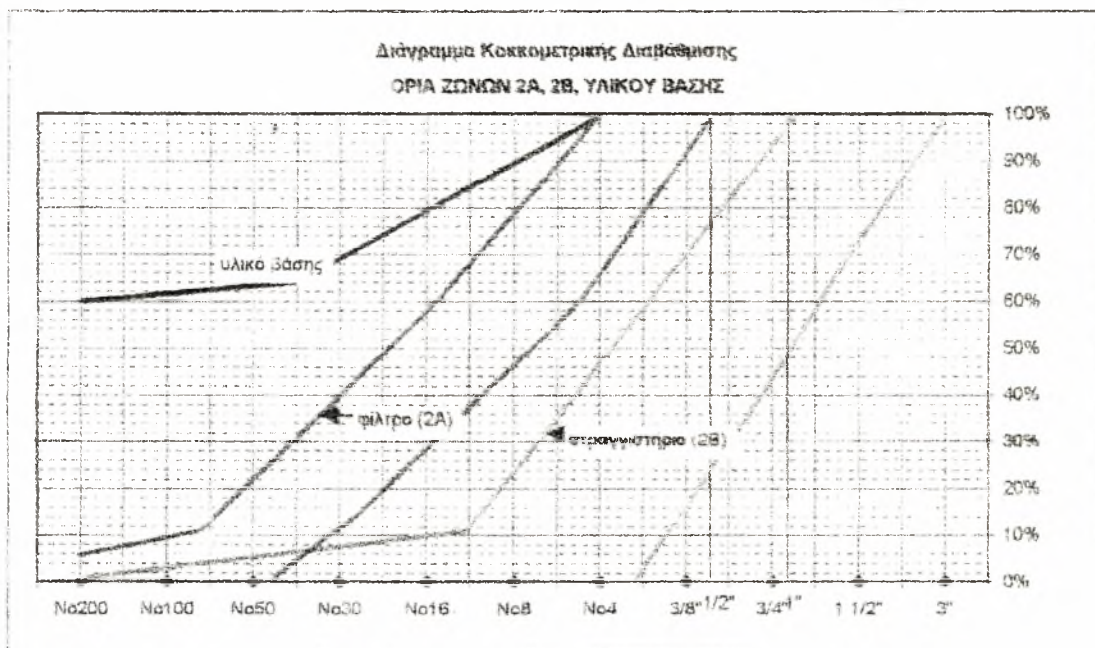
Πρωταρχικός ρόλος για το σχεδιασμό ζωνών φίλτρου & στραγγιστηρίου είναι ο έλεγχος της εσωτερικής διάβρωσης ,ώστε να προστατευθεί το ανάχωμα από τον κίνδυνο της αστοχίας.Όπως άλλωστε κατέδειξαν και οι αναλύσεις ευστάθειας για το συγκεκριμένο έργο, υπάρχει η ανάγκη υποβιβασμού του φρεάτιου ορίζοντα γεγονός που θα επιφέρει αύξηση του συντελεστή ασφαλείας ,βελτιώνοντας έτσι το ανάχωμα.

Έκτος του παραπάνω ένας επιπλέον ρόλος του φίλτρου είναι η **θεραπεία ρηγματώσεων** του πυρήνα με το μπλοκάρισμα των ρωγμών.

Ο σχεδιασμός του κατάντη φίλτρου-στραγγιστηρίου έγινε με βάση τα κριτήρια σχεδιασμού φίλτρων ,προτεινόμενα στο “Geotechnical Engineering of Embankment dams”.

Ως υλικό βάσης ονομάζεται η ζώνη ,την οποία το φίλτρο προστατεύει από εσωτερική διάβρωση.

Βάση του κριτηρίου 1 ο σχεδιασμός του φίλτρου ανάγεται στο ποσοστό του υλικού που διέρχεται στο κόσκινο Νο4.Ο σχεδιασμός των ζωνών 2 Α & 2 Β φαίνεται στην προσαρμοσμένη κοκκομετρική καμπύλη.



Πίνακας 1 Κοκκομετρίας φίλτρων – στραγγιστηρίων – υλικού 3Α

Για το φίλτρο( 2 Α)

Το υλικό βάσης περιέχει από 60% περίπου λεπτότερο υλικό από τα 0,075 mm(το ποσοστό λεπτοκόκκων διερχόμενο από το Νο200 είναι 60%) .Αρα σύμφωνα με το κριτήριο 2, το υλικό βάσης αυτό



κατατάσσεται στην κατηγορία 2 κατά USSCS οπότε θα πρέπει  $D_{15} < 0,7$  mm.

Το φίλτρο πρέπει να περιέχει τουλάχιστον 60% άμμο (κόσκινο No4) δηλαδή  $D_{60} < 4,75$  mm. ( $D_{60}$  στο χονδρόκοκκο όριο)

Από τα  $D_{15}$  &  $D_{60}$  χαράζουμε με ευθεία γραμμή το κάτω όριο του φίλτρου (το χονδρόκοκκο).

Για τη συνέχεια θα βρούμε το άνω όριο δηλαδή το λεπτόκοκκο όριο για το φίλτρο.

Σύμφωνα με το κριτήριο της διαπερατότητας όχι περισσότερο από 5% λεπτόκοκκα διερχόμενα στο No200 ή  $D_5 > 0,075$  mm.

Ενώ σύμφωνα με το κριτήριο της ομοιομορφίας πρέπει ο λόγος  $D_{60} / D_{10} < 20$  (το  $D_{60}$  στο χονδρόκοκκο όριο το δε  $D_{10}$  στο λεπτόκοκκο όριο) Εν προκειμένω  $D_{60} = 4$  mm ( κριτήριο για το οποίο πρέπει να ισχύει  $D_{60} < 4,75$  mm), οπότε  $D_{10} < 0,20$  mm .

Οπότε με βάση τις τιμές των  $D_{10}$  &  $D_5$  το λεπτόκοκκο όριο για το φίλτρο 2 A (αμμοχάλικο). Ο σχεδιασμός των δύο ως άνω ορίων γίνεται ώστε οι καμπύλες των ακραίων ορίων (χονδρόκοκκου-λεπτόκοκκου) να είναι κατά προσέγγιση παράλληλες.

#### Για το στραγγιστήριο (2 B)

Το υλικό βάσης για το στραγγιστήριο είναι το φίλτρο (2 A) το οποίο ως υλικό εντάσσεται στην κατηγορία 3 κατά USSCS, αφού μικρότερο ποσοστό από 15 % κατά βάρος του υλικού που διέρχεται από το κόσκινο No200 είναι πλέον λεπτόκοκκο των 0,075 mm .

Ισχύει  $D_{15} < 4 * d_{85}$  ( $d_{85}$  στο σύνολο ζώνης 2 φίλτρου συμπεριλαμβανωμένων και των χαλίκων.)  $D_{15} < 4 * 3$  mm = 12mm

Η μέγιστη διάσταση των κόκκων επιλέγεται 3 για λόγους αποφυγής διαχωρισμού. Έχοντας ως πρώτο σημείο από την σχέση  $D_{15} < 12$ mm και ενώνοντας το σημείο αυτό με το σημείο 3 προκύπτει το **κάτω όριο** του στραγγιστηρίου (2 B).

Θα πρέπει για τη συνέχεια να βρούμε το άνω όριο του στραγγιστηρίου. Είναι  $D_2 > 0,075$ mm με βάση το κριτήριο διαπερατότητας.

Ακόμη πρέπει να ισχύει η σχέση  $D_{60} / D_{10} < 20$  (όπου τα  $D_{60}$  και  $D_{10}$  στα χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα όρια αντίστοιχα)

$D_{60}=30$  (βρίσκεται αν από το  $D_{60}$  φέρουμε παράλληλη στο κάτω όριο του υλικού 2 Β άρα προκύπτει 30mm). Από την ανισότητα προκύπτει  $D_{10} > 1,5 \text{ mm}$ .

Από τα σημεία που προκύπτουν βάση των σχέσεων  $D_2 > 0,075 \text{ mm}$  και  $D_{10} > 1,5 \text{ mm}$  προκύπτει μια ευθεία γραμμή που αντιπροσωπεύει το άνω όριο για το στραγγιστήριο 2 Β.

Όπως και στον σχεδιασμό φίλτρου οι οριακές καμπύλες (λεπτόκοκκο – χονδρόκοκκο όριο σχεδιασμού) είναι κατά προσέγγιση παράλληλες.

## 8.2 Συνθήκες θεμελίωσης υπάρχοντος αναχώματος

Θα πρέπει επιπρόσθετα να ληφθούν κάποια μέτρα ώστε να ελαχιστοποιηθεί το πρόβλημα διαρροής μέσω της θεμελίωσης. Όπως επισημάνθηκε το υλικό της θεμελίωσης δεν είναι βραχώδης σχηματισμός οπότε η διαπερατότητα του υλικού είναι σημαντική σε σχέση με αυτή του βράχου.

Δεν κατέστη δυνατό να διερευνηθεί η κοίτη και το χαμηλό ανάντη τμήμα του πρανούς φράγματος λόγω της υπάρχουσας στάθμης του νερού. Οι εργασίες αυτές θα πραγματοποιηθούν κατά τους καλοκαιρινούς μήνες με το άδειασμα της λίμνης.

Ιδιαίτερα θα πρέπει να ερευνηθεί το όριο του ανάντη πρανούς στο σημείο θεμελίωσης με **εκσκαφή τάφρου** σε όλο το πλάτος της κοίτης **βάθους 4,00 m.** περίπου για να διαπιστωθεί η ύπαρξη ή όχι διαπερατών στρώσεων στη θεμελίωση του αναχώματος. Το σκάμμα αυτό της εκσκαφής θα πληρωθεί από συμπαγερμένο **αργιλικό υλικό** και θα λειτουργήσει σαν <<cut off>>, δηλαδή σαν διάφραγμα, για την μείωση της ροής του υπογείου νερού δια μέσω του υλικού της θεμελίωσης. Το διάφραγμα αυτό της αργίλου θα ανακόψει την ροή του νερού με αποτέλεσμα να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος πρόκλησης **υδραυλικής αστοχίας.**

## 9. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Αφού προηγήθηκαν όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι (XSTABL) για την ενίσχυση του αναχώματος, είμαστε πλέον σε θέση να πραγματοποιήσουμε επίχωση του κατάντη πρανούς με υλικό λιθορριπής (ζώνη 3 B , 3 C ). Για το υλικό αυτό πρέπει προηγουμένως να τηρούνται ορισμένες προδιαγραφές ώστε αυτό να καθίσταται κατάλληλο για επίχωση.

### Γενικά (Προδιαγραφές)

#### Ζώνη (3 B)

Λιθορριπή από ελαφρά αποσαθρωμένο μέχρι υγιή βράχο από απαιτούμενες εκσκαφές ή εγκεκριμένα λατομεία με μέγιστη διάσταση τεμαχίων 1m.

#### Ζώνη (3 C)

Λιθορριπή από ελαφρά αποσαθρωμένο μέχρι υγιή βράχο , από απαιτούμενες εκσκαφές ή εγκεκριμένα λατομεία με μέγιστη διάσταση τεμαχίων 1,5m.

Τα υλικά κατασκευής ζωνών (3 B) &(3 C) του αναχώματος θα είναι λιθορριπή από σκληρά, ανθεκτικά, συμπαγή τεμάχια υγιούς μέχρι ελαφρώς αποσαθρωμένου βράχου από απαιτούμενες εκσκαφές ή εγκεκριμένα λατομεία μετά από έγκριση του μηχανικού κατασκευής.

Η μέγιστη διάσταση των τεμαχίων βράχου στα υλικά που πρόκειται να διαστρωθούν στις ζώνες (3 B) &(3 C) , θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε και τα πιο μεγάλα τεμάχια βράχου να μπορούν να εγκιβωτίζονται στις στρώσεις των αντίστοιχων ζωνών χωρίς να παρεμποδίζουν την επίτευξη ικανοποιητικής συμπύκνωσης. Η μέγιστη διάσταση των τεμαχίων βράχου δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 1m στη ζώνη 3 B και από 1,5m στη ζώνη 3 C .Μεγαλύτερα τεμάχια βράχου από αυτά τα όρια μεγέθους θα πρέπει να αφαιρούνται με κατάλληλα μέσα ή μεθόδους και να τοποθετούνται στο κατάντη πρανές σύμφωνα με τις εντολές του μηχανικού.

Το λιθορριπτο υλικό θα πρέπει μετά την συμπύκνωση να μην περιέχει :

(α) Ποσοστό μεγαλύτερο από 40% κατά βάρος τεμαχίων μικρότερων από 25mm  
και

(β) Ποσοστό μεγαλύτερο από 5% κατά βάρος τεμαχίων μικρότερων από 0,075mm (διερχόμενο από το κόσκινο No200)

Αφού προσδιορίσαμε τις προδιαγραφές που πρέπει να τηρεί το υλικό που πρόκειται να διαστρωθεί για επίχωση πρέπει να αναφερθούν αντίστοιχα και οι προδιαγραφές για τα υλικά ( 2 A ) & ( 2 C ) (φίλτρο & στραγγιστήριο).

#### Ζώνη ( 2 A )

Ειδικό υλικό φίλτρου ,διαβαθμισμένο από αμμοχάλικα ποταμού κοσκινισμένο με μέγιστο κόκκο **19mm** (3/4').

#### Ζώνη (2 B )

Υλικό φίλτρου διαβαθμισμένο από αμμοχάλικα ποταμού με μέγιστο κόκκο **76mm** (3') εμπλουτισμένο με θραυστό υλικό από θραύση κροκκαλών ποταμού.

#### Προδιαγραφές για τη Ζώνη ( 2 A )

Η Ζώνη ( 2 A ) του ειδικού φίλτρου, θα έχει πάχος στρώσης όχι μεγαλύτερο από 40cm πριν από τη συμπύκνωση με μέγιστο κόκκο 19mm.

Τα υλικά που απαιτούνται για τη ζώνη ( 2 A ) του ειδικού φίλτρου θα προέρχονται από κοσκίνισμα αμμοχαλικών ποταμού και θα αποτελούνται από σκληρούς ανθεκτικούς κόκκους. Τα υλικά θα πρέπει να είναι καθαρά και να μην περιέχουν οργανικές ουσίες και μαλακά εύθρυπτα τεμάχια .

Τα υλικά του ειδικού φίλτρου θα πρέπει να έχουν την προδιαγραφόμενη κοκκομετρική διαβάθμιση που θα επιτυγχάνεται με διαδικασίες κοσκινίσματος. Τα **πρωτογενή** υλικά για την παραγωγή του φίλτρου θα προέρχονται από εγκεκριμένους δανειοθαλάμους ή από άλλες πηγές που θα εγκριθούν από τον μηχανικό.

Σε όλα τα στάδια του κοσκινίσματος, αποθήκευσης ,εκσκαφής ,διακίνησης και μεταφοράς θα καταβάλλονται προσπάθειες ώστε να ελαχιστοποιείται ο διαχωρισμός και η ανομοιογένεια του υλικού και κάθε φορτίο που διαστρώνεται στην επιφάνεια του φράγματος να περιέχει ομοιόμορφο, καλά διαβαθμισμένο μίγμα κόκκων μέσα στα καθορισμένα όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης. Ειδικότερα δεν επιτρέπεται η απόθεση υλικού με ελεύθερη πτώση από το άκρο μεταφορικής ταινίας χωρίς χοάνες και αγωγούς πτώσεις.



Το υλικό θα πρέπει να παρουσιάζει ομαλή κοκκομετρική καμπύλη σε πρότυπο ημιλογαριθμικό διάγραμμα κοκκομετρικής διαβάθμισης, χωρίς απότομες κλίσεις που δείχνουν έλλειψη ενδιάμεσων μεγέθων κόκκων.

#### Προδιαγραφές φίλτρου Ζώνη ( 2 B) (στραγγιστήριο)

Τα υλικά κατασκευής της ζώνης ( 2 B) θα προέρχονται από επεξεργασία αμμοχαλίκων ποταμού που θα ληφθούν από εγκεκριμένους δανειοθαλάμους, ώστε η μέγιστη διάσταση κόκκου που μπορεί να ενσωματωθεί στη ζώνη (2 B) δεν θα είναι μεγαλύτερη από 76mm( 3'') .

Το υλικό θα πρέπει να παρουσιάζει κανονική ομαλή κοκκομετρική καμπύλη σε πρότυπο ημιλογαριθμικό διάγραμμα χωρίς απότομες αλλαγές κλίσεως.

Η επεξεργασία των αμμοχαλίκων ποταμού για την επίτευξη κοκκομετρικής διαβάθμισης μέσα στα παραπάνω όρια ,μπορεί να περιλαμβάνει κοσκίνισμα και πλύσιμο των αμμοχαλίκων καθώς και εμπλουτισμό τους με διάφορα κλάσματα (διαμέτρους) σε διάφορα ποσοστά.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε διάφορα ποσοστά επεξεργασμένα αμμοχάλικα ποταμού στην κοκκομετρική διαβάθμιση της ζώνης (2 A) για εμπλουτισμό των υλικών για την κατασκευή της ζώνης (2 B).

Εάν κατά την κατασκευή της ζώνης (2 B) παρατηρείται διαχωρισμός των υλικών , ο μηχανικός μπορεί να απαιτήσει εμπλουτισμό της ζώνης (2 B) με γωνιώδεις κόκκους που θα προέλθουν από τη θραύση των μεγαλύτερων από 76mm και μέχρι 150mm κροκκαλών.

Ο εμπλουτισμός των αμμοχαλίκων της ζώνης (2 B) με άλλης κοκκομετρικής διαβάθμισης αμμοχάλικα ή με γωνιώδεις κόκκους από θραύση κροκκαλών , θα γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε το τελικό προϊόν να είναι **ομοιογενές** .

Ο εμπλουτισμός και η ανάμειξη των υλικών θα γίνεται εκτός του αναχώματος του φράγματος.

Τα υλικά κατασκευής της ζώνης (2 B) θα πρέπει να είναι καθαρά και να μην περιέχουν οργανικές ουσίες και μαλακά ή εύθρυπτα τεμάχια .

Αφού αναφέρθηκαν γενικώς οι προδιαγραφές που πρέπει να τηρούνται ώστε τα υλικά που πρόκειται να διαστρωθούν να είναι κατάλληλα ,στο συγκεκριμένο ανάχωμα ως προς την κατασκευή του πραγματοποιούνται :

(α) Καθαρισμός των φυτικών υλικών-γαιών ώστε το υλικό επίχωσης (λιθορριπή) να μπορέσει να εδρασθεί σε υγιές υπόβαθρο.

(β) Έλεγχος των υδάτων. Ο έλεγχος αυτός γίνεται με αντλήσεις ώστε να απομακρυνθεί το νερό που κυκλοφορεί στο σώμα του φράγματος ιδιαίτερα κατά την παρουσία του αγωγού εκκένωσης.

(γ) Επέκταση του αγωγού εκκένωσης-υδροληψίας στην κατάντη μεριά του έργου και η κατασκευή νέου φρεατίου με δικλείδα.

(δ) Διάστρωση και συμπύκνωση οριζοντίου φίλτρου (2 Α) σύμφωνα με τις προδιαγραφές που αναφέρθηκαν για τη ζώνη (2 Α). Η τοποθέτηση του οριζόντιου φίλτρου προηγείται τόσο της τοποθέτησης του υλικού επίχωσης ,όσο και του στραγγιστηρίου(2 Β).

(ε) Πριν την διάστρωση και συμπύκνωση του υλικού επίχωσης τοποθετείται το κατάντη φίλτρο με σκοπό το υλικό της λιθορριπής να εγκιβωτίζεται σε αυτό. Έτσι τελευταία φάση κατασκευής είναι η διάστρωση του υλικού επίχωσης ( ζώνη 3Β ,3C), σύμφωνα με τις προδιαγραφές που αναφέρθηκαν.

Παρακάτω εμφανίζονται ορισμένες εργασίες που πραγματοποιούνται κατά την κατασκευή , που αφορούν τη διάστρωση του κατάντη φίλτρου & στραγγιστηρίου και την επίχωση του κατάντη πρανούς με υλικό λιθορριπής.



**ΦΩΤΟ 1**



Στη φωτογραφία αυτή που αφορά το ανάντη πρανές του αναχώματος, διακρίνονται τα υλικά των αντερεισμάτων που αποτελούνται από διαπερατούς ορίζοντες. Φαίνεται ακόμη και ο σχηματισμός της θεμελίωσης που πρόκειται για μη βραχώδη – διαπερατό σχηματισμό.





**ΦΩΤΟ 2**

Στη φάση αυτή διακρίνονται οι εργασίες επίχωσης (επισκευής) του κατάντη πρανούς. Παρατηρούμε ότι πραγματοποιήθηκε επέκταση του αγωγού εκκένωσης και κατασκευή νέου φρεατίου εξόδου για την υδροληψία. Επιπλέον φαίνεται η διάστρωση του υλικού (2 Α) στη θεμελίωση (οριζόντιο φίλτρο), που όπως προαναφέρθηκε προηγείται της επίχωσης.





ΦΩΤΟ 3

Στη φωτογραφία αυτή φαίνεται η **διάστρωση του υλικού 2 Α** (υλικό φίλτρου) ,αφού προηγήθηκε τοπική εξυγίανση των χαλαρών αποσαθρωμένων υλικών με εκσκαπτικό μηχάνημα (τσάπα).



Στην παραπάνω φωτογραφία φαίνεται το υλικό φίλτρου 2 Α το οποίο πρόκειται να διαστρωθεί όπως προαναφέρθηκε, πριν την επιχωμάτωση, στο κατάντη πρανές για τον έλεγχο της εσωτερικής ροής.



**ΦΩΤΟ 4**

Στη φωτογραφία αυτή φαίνεται η συνθήκη λειτουργίας για το ανάντη πρανές με την πτώση στάθμης της λίμνης καθώς και οι συνθήκες για την υδροληψία.





**ΦΩΤΟ 5**

Στην παραπάνω φωτογραφία φαίνεται η διαστρωμένη ζώνη του υλικού 2 Α στη θεμελίωση του κατάντη σώματος στήριξης ,σύμφωνα με όσα ήδη αναφέρθηκαν.



ΦΩΤΟ 6



ΦΩΤΟ 7

Στις παραπάνω φωτογραφίες φαίνεται η τελική μορφή για το κατάντη πρανές, που όπως εύκολα διαπιστώνεται το υλικό επίχωσης δεν είναι λιθορριπή υγιούς βράχου αλλά “βρώμικη” λιθορριπή (αμμοχάλικο)



με μικρότερη γωνία διατμητικής αντοχής( $\phi'=37,5^0-40^0$ ). Όπως όμως διαφάνηκε από τους ελέγχους ευστάθειας και με αυτή την τιμή της γωνίας για το υλικό λιθορριπής, το έργο παρουσιάζει ικανοποιητική ευστάθεια. Συμπερασματικά μπορούμε να αναφέρουμε ότι η επιθυμητή ευστάθεια για το ανάχωμα έγκειται στο μεγαλύτερό της βαθμό από την επίχωση του κατάντη πρανούς αδιαφορώντας εάν το υλικό επίχωσης είναι αμμοχάλικο ή υγιής λιθορριπή ( $\phi'=45^0$ ). Θα μπορούσε μάλιστα όλη η κατάντη παρειά να διαστρωθεί από υλικό (2 A) ή (2 B) ενσωματώνοντας έτσι και τη ζώνη φίλτρου-στραγγιστηρίου.



Στην παραπάνω φωτογραφία φαίνεται ο εκχειλιστής στην τελική του μορφή.



Ομοίως στην εικόνα αυτή φαίνεται ο εκχειλιστής ο οποίος κατασκευάστηκε επαρκώς ικανοποιητικά εκτρέποντας τη ροή από ενδεχόμενη πλημμύρα.





Στην παραπάνω φωτογραφία φαίνεται η νέα κατάντη κλίση του αναχώματος, ύστερα από την τοποθέτηση του υλικού επίχωσης (λιθορριπή), προσδίδοντας έτσι στο έργο ευστάθεια.



Στην παραπάνω φωτογραφία φαίνεται η ομαλή ανάντη κλίση του αναχώματος, ενώ απουσιάζουν οι ζώνες ελέγχου της ροής στο τμήμα αυτό, καθώς ανάντη αντέρεισμα και πυρήνας αποτελούνται από το ίδιο αργιλικό υλικό. Θα ήταν περισσότερο αποδεκτό από πλευράς ασφάλειας,

το ανάντη πρανές να αποτελούταν από πιο διαπερατό υλικό για τον έλεγχο της εσωτερικής ροής δια μέσου του σώματος του έργου.

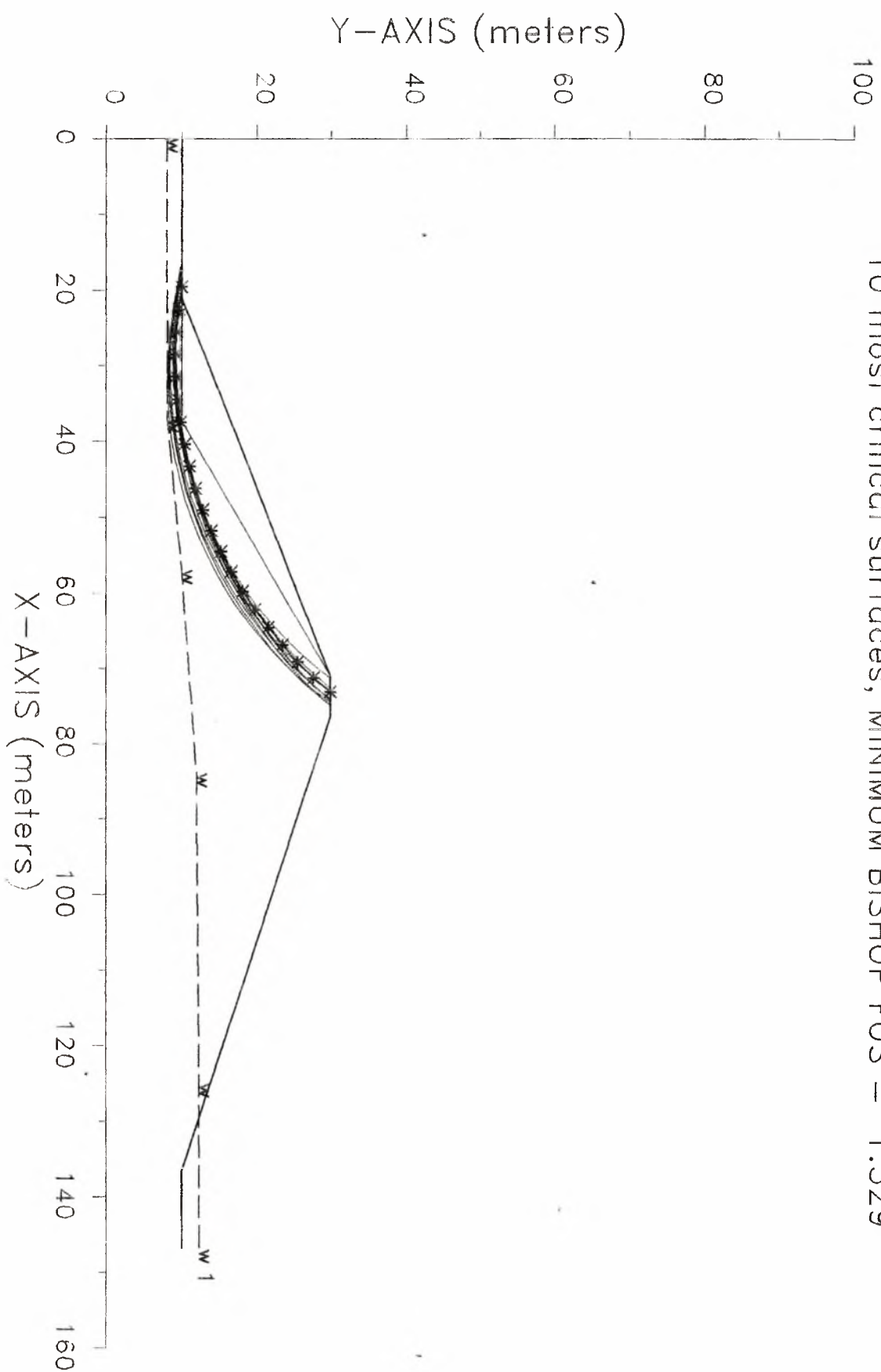


Στην φωτογραφία φαίνεται το υλικό της θεμελίωσης που όπως διακρίνεται πρόκειται για συνεκτικό μεν σχηματισμό, αλλά όχι για βραχώδη ,γεγονός που καθιστά το υλικό αυτό ιδιαίτερα περατό σε σχέση με έναν υγιή βραχώδη σχηματισμό.



liv18

10 most critical surfaces, MINIMUM BISHOP FOS = 1.529



```

*****
*                               *
*               X S T A B L     *
*                               *
*      Slope Stability Analysis  *
*            using the          *
*            Method of Slices   *
*                               *
*      Copyright (C) 1992 - 96  *
*      Interactive Software Designs, Inc. *
*      Moscow, ID 83843, U.S.A. *
*                               *
*      All Rights Reserved      *
*                               *
*      Ver. 5.200                96 - 1208 *
*****

```

Problem Description : liv18

-----  
SEGMENT BOUNDARY COORDINATES  
-----

5 SURFACE boundary segments

Segment No.	x-left (m)	y-left (m)	x-right (m)	y-right (m)	Soil Unit Below Segment
1	.0	10.0	21.0	10.0	1
2	21.0	10.0	71.0	30.0	2
3	71.0	30.0	76.5	30.0	1
4	76.5	30.0	136.5	10.0	1
5	136.5	10.0	147.0	10.0	1

2 SUBSURFACE boundary segments

Segment No.	x-left (m)	y-left (m)	x-right (m)	y-right (m)	Soil Unit Below Segment
1	21.0	10.0	37.4	10.0	1
2	37.4	10.0	71.0	30.0	1

-----  
ISOTROPIC Soil Parameters  
-----

2 Soil unit(s) specified

Soil Unit No.	Unit Weight Moist (kN/m3)	Sat. (kN/m3)	Cohesion Intercept (kPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Parameter Ru	Water Constant (kPa)	Surface No.
------------------	------------------------------	--------------	-----------------------------	-------------------------	-------------------------------	-------------------------	----------------

1	17.0	20.0	10.0	22.50	.000	.0	1
2	17.0	20.0	.0	40.00	.000	.0	1

1 Water surface(s) have been specified

Unit weight of water = 9.81 (kN/m3)

Water Surface No. 1 specified by 6 coordinate points

\*\*\*\*\*  
PHREATIC SURFACE,  
\*\*\*\*\*

Point No.	x-water (m)	y-water (m)
1	.00	8.00
2	37.00	8.10
3	57.00	10.00
4	84.00	12.00
5	125.00	12.30
6	147.00	12.30

A critical failure surface searching method, using a random technique for generating CIRCULAR surfaces has been specified.

100 trial surfaces will be generated and analyzed.

10 Surfaces initiate from each of 10 points equally spaced  
along the ground surface between x = 16.0 m  
and x = 20.0 m

Each surface terminates between x = 70.0 m  
and x = 75.0 m

Unless further limitations were imposed, the minimum elevation  
at which a surface extends is y = .0 m

\* \* \* \* \* DEFAULT SEGMENT LENGTH SELECTED BY XSTABL \* \* \* \* \*  
3.0 m line segments define each trial failure surface.

-----  
ANGULAR RESTRICTIONS  
-----

The first segment of each failure surface will be inclined

within the angular range defined by :

Lower angular limit := -45.0 degrees  
Upper angular limit := (slope angle - 5.0) degrees

Factors of safety have been calculated by the :

\* \* \* \* \* SIMPLIFIED BISHOP METHOD \* \* \* \* \*

The most critical circular failure surface  
is specified by 21 coordinate points

Point No.	x-surf (m)	y-surf (m)
1	19.56	10.00
2	22.53	9.58
3	25.51	9.32
4	28.51	9.22
5	31.51	9.27
6	34.51	9.48
7	37.48	9.84
8	40.44	10.36
9	43.36	11.04
10	46.24	11.86
11	49.08	12.84
12	51.86	13.96
13	54.58	15.23
14	57.23	16.64
15	59.80	18.18
16	62.29	19.86
17	64.69	21.66
18	66.99	23.59
19	69.18	25.63
20	71.27	27.79
21	73.19	30.00

\*\*\*\* Simplified BISHOP FOS = 1.529 \*\*\*\*

The following is a summary of the TEN most critical surfaces

Problem Description : liv18

	FOS (BISHOP)	Circle Center x-coord (m)	Circle Center y-coord (m)	Radius (m)	Initial x-coord (m)	Terminal x-coord (m)	Resisting Moment (kN-m)
1.	1.529	29.01	66.56	57.34	19.56	73.19	1.530E+05
2.	1.532	29.31	64.53	55.40	19.56	72.61	1.468E+05



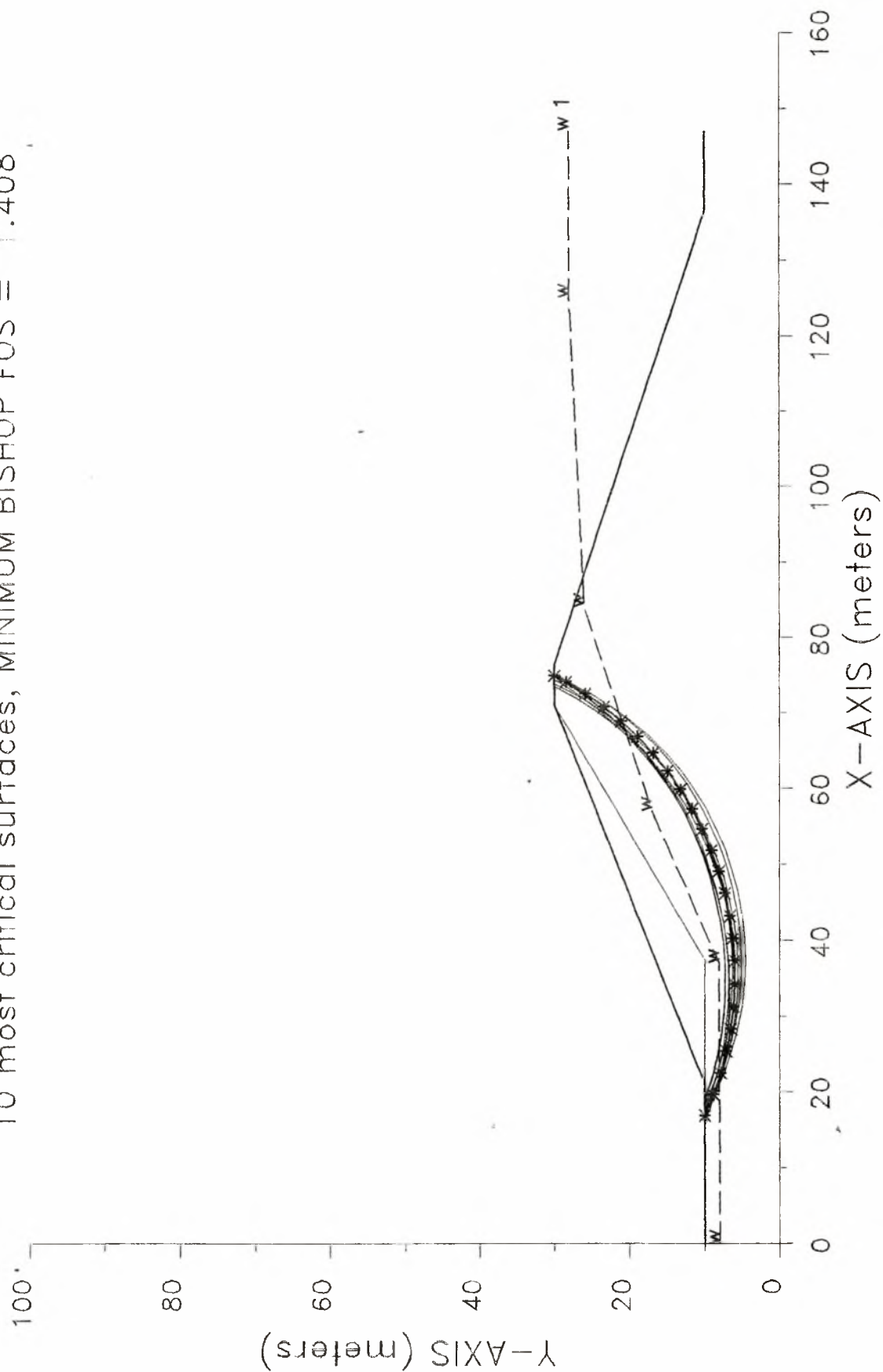
3.	1.533	28.60	69.44	60.42	17.78	74.36	1.720E+05
4.	1.540	28.49	70.46	61.65	16.44	74.98	1.844E+05
5.	1.543	27.80	70.47	61.61	16.00	74.23	1.768E+05
6.	1.544	30.36	61.47	52.99	17.78	72.98	1.575E+05
7.	1.545	30.35	63.32	55.00	16.89	74.08	1.732E+05
8.	1.545	30.64	64.37	56.08	16.89	74.93	1.832E+05
9.	1.546	29.74	60.64	51.65	19.56	71.30	1.337E+05
10.	1.549	32.38	59.80	51.66	18.67	74.56	1.725E+05

\* \* \* END OF FILE \* \* \*

LIV9 9-19-\*\*\* 19:50

liv9

10 most critical surfaces, MINIMUM BISHOP FOS = 1.408



```

*****
*                               *
*               X S T A B L     *
*                               *
*      Slope Stability Analysis  *
*      using the                 *
*      Method of Slices         *
*                               *
*      Copyright (C) 1992 - 96   *
*      Interactive Software Designs, Inc. *
*      Moscow, ID 83843, U.S.A.  *
*                               *
*      All Rights Reserved      *
*                               *
*      Ver. 5.200                96 - 1208 *
*****

```

Problem Description : liv9

-----  
SEGMENT BOUNDARY COORDINATES  
-----

5 SURFACE boundary segments

Segment No.	x-left (m)	y-left (m)	x-right (m)	y-right (m)	Soil Unit Below Segment
1	.0	10.0	21.0	10.0	1
2	21.0	10.0	71.0	30.0	2
3	71.0	30.0	76.5	30.0	1
4	76.5	30.0	136.5	10.0	1
5	136.5	10.0	147.0	10.0	1

2 SUBSURFACE boundary segments

Segment No.	x-left (m)	y-left (m)	x-right (m)	y-right (m)	Soil Unit Below Segment
1	21.0	10.0	37.4	10.0	1
2	37.4	10.0	71.0	30.0	1

-----  
ISOTROPIC Soil Parameters  
-----

2 Soil unit(s) specified

Soil Unit No.	Unit Weight Moist (kN/m3)	Sat. (kN/m3)	Cohesion Intercept (kPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Parameter Ru	Water Constant (kPa)	Surface No.

1	17.0	20.0	10.0	22.50	.000	.0	1
2	17.0	20.0	.0	40.00	.000	.0	1

1 Water surface(s) have been specified

Unit weight of water = 9.81 (kN/m3)

Water Surface No. 1 specified by 6 coordinate points

\*\*\*\*\*  
PHREATIC SURFACE,  
\*\*\*\*\*

Point No.	x-water (m)	y-water (m)
1	.00	8.00
2	37.00	8.10
3	57.00	17.00
4	84.00	26.00
5	125.00	28.00
6	147.00	28.00

A critical failure surface searching method, using a random technique for generating CIRCULAR surfaces has been specified.

100 trial surfaces will be generated and analyzed.

10 Surfaces initiate from each of 10 points equally spaced along the ground surface between x = 16.0 m  
and x = 20.0 m

Each surface terminates between x = 70.0 m  
and x = 75.0 m

Unless further limitations were imposed, the minimum elevation at which a surface extends is y = .0 m

\* \* \* \* \* DEFAULT SEGMENT LENGTH SELECTED BY XSTABL \* \* \* \* \*  
3.0 m line segments define each trial failure surface.

-----  
ANGULAR RESTRICTIONS  
-----

The first segment of each failure surface will be inclined



within the angular range defined by :

Lower angular limit := -45.0 degrees  
Upper angular limit := (slope angle - 5.0) degrees

Factors of safety have been calculated by the :

\* \* \* \* \* SIMPLIFIED BISHOP METHOD \* \* \* \* \*

The most critical circular failure surface  
is specified by 24 coordinate points

Point No.	x-surf (m)	y-surf (m)
1	16.89	10.00
2	19.66	8.85
3	22.50	7.88
4	25.40	7.11
5	28.34	6.54
6	31.32	6.16
7	34.31	5.99
8	37.31	6.02
9	40.31	6.24
10	43.27	6.67
11	46.21	7.30
12	49.09	8.13
13	51.92	9.14
14	54.66	10.34
15	57.32	11.73
16	59.89	13.29
17	62.34	15.02
18	64.67	16.91
19	66.86	18.95
20	68.92	21.14
21	70.82	23.46
22	72.57	25.90
23	74.14	28.45
24	74.96	30.00

\*\*\*\* Simplified BISHOP FOS = 1.408 \*\*\*\*

The following is a summary of the TEN most critical surfaces

Problem Description : liv9

FOS (BISHOP)	Circle Center x-coord (m)	y-coord (m)	Radius (m)	Initial x-coord (m)	Terminal x-coord (m)	Resisting Moment (kN-m)
-----------------	---------------------------------	----------------	---------------	---------------------------	----------------------------	-------------------------------

1.	1.408	35.41	50.59	44.61	16.89	74.96	1.762E+05
2.	1.411	35.94	50.32	44.04	18.22	75.00	1.704E+05
3.	1.414	37.21	46.26	41.14	17.78	74.98	1.743E+05
4.	1.417	34.34	54.14	47.30	17.33	75.01	1.741E+05
5.	1.418	35.70	47.51	41.96	16.89	73.80	1.664E+05
6.	1.421	37.48	44.61	40.05	17.33	74.76	1.756E+05
7.	1.422	34.58	54.55	47.30	18.67	74.99	1.687E+05
8.	1.422	34.95	48.95	42.93	16.89	73.46	1.622E+05
9.	1.422	33.48	54.36	47.68	16.00	74.44	1.745E+05
10.	1.422	34.79	54.27	46.96	19.11	74.98	1.667E+05

\* \* \* END OF FILE \* \* \*

1	17.0	20.0	10.0	22.50	.000	.0	1
2	17.0	20.0	.0	37.50	.000	.0	1

1 Water surface(s) have been specified

Unit weight of water = 9.81 (kN/m3)

Water Surface No. 1 specified by 6 coordinate points

\*\*\*\*\*  
PHREATIC SURFACE,  
\*\*\*\*\*

Point No.	x-water (m)	y-water (m)
1	.00	8.00
2	37.00	8.10
3	57.00	17.00
4	84.00	26.00
5	125.00	28.00
6	147.00	28.00

A critical failure surface searching method, using a random technique for generating CIRCULAR surfaces has been specified.

100 trial surfaces will be generated and analyzed.

10 Surfaces initiate from each of 10 points equally spaced along the ground surface between x = 16.0 m and x = 20.0 m

Each surface terminates between x = 70.0 m and x = 75.0 m

Unless further limitations were imposed, the minimum elevation at which a surface extends is y = .0 m

\* \* \* \* \* DEFAULT SEGMENT LENGTH SELECTED BY XSTABL \* \* \* \* \*

3.0 m line segments define each trial failure surface.

-----  
ANGULAR RESTRICTIONS  
-----

The first segment of each failure surface will be inclined

within the angular range defined by :

Lower angular limit := -45.0 degrees  
Upper angular limit := (slope angle - 5.0) degrees

Factors of safety have been calculated by the :

\* \* \* \* \* SIMPLIFIED BISHOP METHOD \* \* \* \* \*

The most critical circular failure surface  
is specified by 24 coordinate points

Point No.	x-surf (m)	y-surf (m)
1	16.89	10.00
2	19.66	8.85
3	22.50	7.88
4	25.40	7.11
5	28.34	6.54
6	31.32	6.16
7	34.31	5.99
8	37.31	6.02
9	40.31	6.24
10	43.27	6.67
11	46.21	7.30
12	49.09	8.13
13	51.92	9.14
14	54.66	10.34
15	57.32	11.73
16	59.89	13.29
17	62.34	15.02
18	64.67	16.91
19	66.86	18.95
20	68.92	21.14
21	70.82	23.46
22	72.57	25.90
23	74.14	28.45
24	74.96	30.00

\*\*\*\* Simplified BISHOP FOS = 1.408 \*\*\*\*

The following is a summary of the TEN most critical surfaces

Problem Description : lith15

FOS (BISHOP)	Circle Center x-coord y-coord (m) (m)	Radius (m)	Initial x-coord (m)	Terminal x-coord (m)	Resisting Moment (kN-m)
-----------------	---------------------------------------------	---------------	---------------------------	----------------------------	-------------------------------

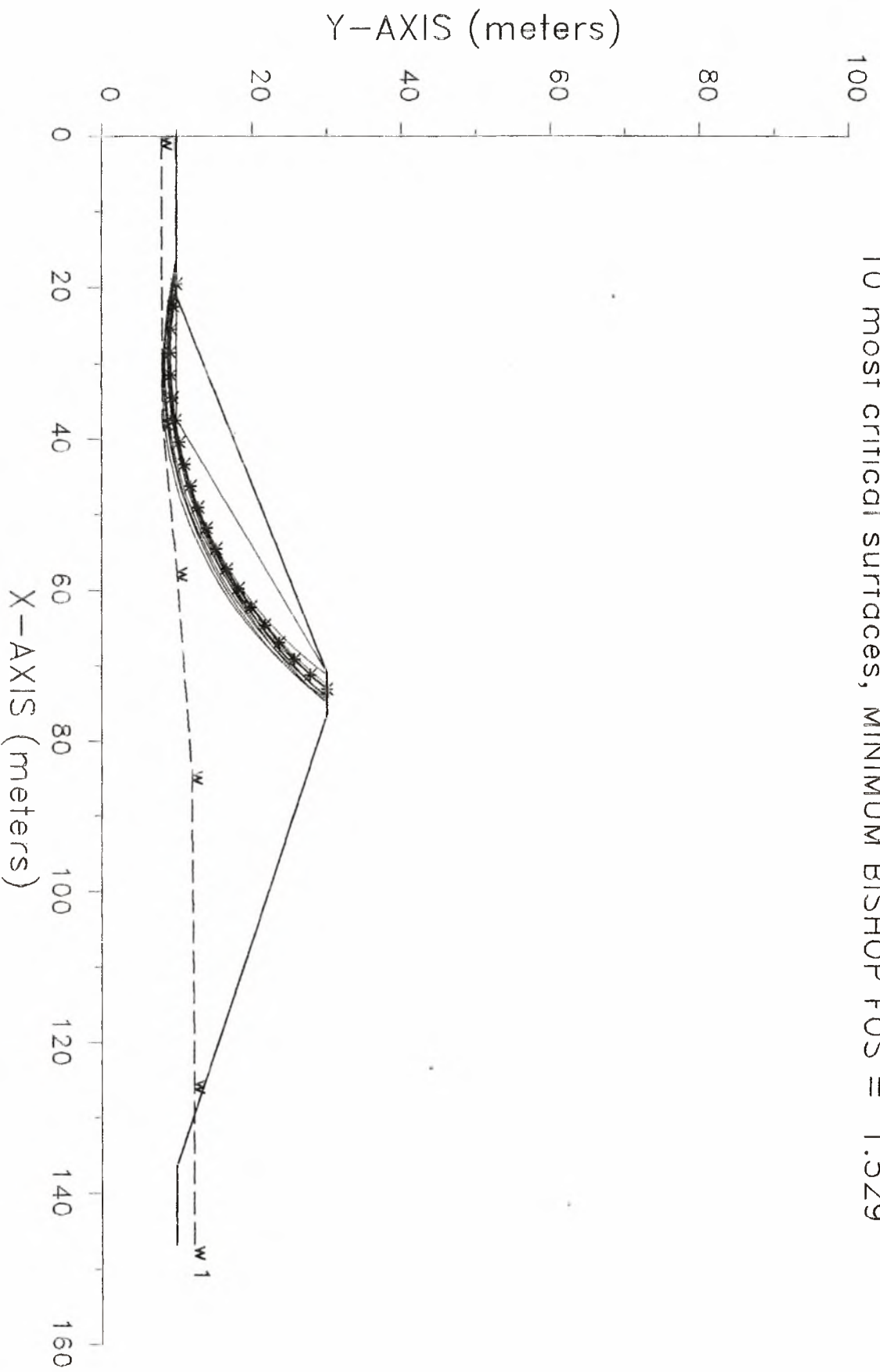


1.	1.408	35.41	50.59	44.61	16.89	74.96	1.762E+05
2.	1.411	35.94	50.32	44.04	18.22	75.00	1.704E+05
3.	1.414	37.21	46.26	41.14	17.78	74.98	1.743E+05
4.	1.417	34.34	54.14	47.30	17.33	75.01	1.741E+05
5.	1.418	35.70	47.51	41.96	16.89	73.80	1.664E+05
6.	1.421	37.48	44.61	40.05	17.33	74.76	1.756E+05
7.	1.422	34.58	54.55	47.30	18.67	74.99	1.687E+05
8.	1.422	34.95	48.95	42.93	16.89	73.46	1.622E+05
9.	1.422	33.48	54.36	47.68	16.00	74.44	1.745E+05
10.	1.422	34.79	54.27	46.96	19.11	74.98	1.667E+05

\* \* \* END OF FILE \* \* \*

lith18

10 most critical surfaces, MINIMUM BISHOP FOS = 1.529



```

*****
*               X S T A B L               *
*               *                           *
*           Slope Stability Analysis         *
*           using the                       *
*           Method of Slices                *
*               *                           *
*           Copyright (C) 1992 - 96         *
*   Interactive Software Designs, Inc.      *
*           Moscow, ID 83843, U.S.A.       *
*               *                           *
*           All Rights Reserved             *
*               *                           *
*   Ver. 5.200                             .96 - 1208 *
*****

```

Problem Description : lith18

-----  
SEGMENT BOUNDARY COORDINATES  
-----

5 SURFACE boundary segments

Segment No.	x-left (m)	y-left (m)	x-right (m)	y-right (m)	Soil Unit Below Segment
1	.0	10.0	21.0	10.0	1
2	21.0	10.0	71.0	30.0	2
3	71.0	30.0	76.5	30.0	1
4	76.5	30.0	136.5	10.0	1
5	136.5	10.0	147.0	10.0	1

2 SUBSURFACE boundary segments

Segment No.	x-left (m)	y-left (m)	x-right (m)	y-right (m)	Soil Unit Below Segment
1	21.0	10.0	37.4	10.0	1
2	37.4	10.0	71.0	30.0	1

-----  
ISOTROPIC Soil Parameters  
-----

2 Soil unit(s) specified

Soil Unit No.	Unit Weight Moist (kN/m3)	Unit Weight Sat. (kN/m3)	Cohesion Intercept (kPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Parameter Ru	Water Constant (kPa)	Water Surface No.
---------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------	----------------------------------	----------------------------	-------------------------

1	17.0	20.0	10.0	22.50	.000	.0	1
2	17.0	20.0	.0	37.50	.000	.0	1

1 Water surface(s) have been specified

Unit weight of water = 9.81 (kN/m3)

Water Surface No. 1 specified by 6 coordinate points

\*\*\*\*\*

PHREATIC SURFACE,

\*\*\*\*\*

Point No.	x-water (m)	y-water (m)
1	.00	8.00
2	37.00	8.10
3	57.00	10.00
4	84.00	12.00
5	125.00	12.30
6	147.00	12.30

A critical failure surface searching method, using a random technique for generating CIRCULAR surfaces has been specified.

100 trial surfaces will be generated and analyzed.

10 Surfaces initiate from each of 10 points equally spaced along the ground surface between x = 16.0 m and x = 20.0 m

Each surface terminates between x = 70.0 m and x = 75.0 m

Unless further limitations were imposed, the minimum elevation at which a surface extends is y = .0 m

\* \* \* \* \* DEFAULT SEGMENT LENGTH SELECTED BY XSTABL \* \* \* \* \*

3.0 m line segments define each trial failure surface.

-----  
ANGULAR RESTRICTIONS  
-----

The first segment of each failure surface will be inclined



within the angular range defined by :

Lower angular limit := -45.0 degrees

Upper angular limit := (slope angle - 5.0) degrees

Factors of safety have been calculated by the :

\* \* \* \* \* SIMPLIFIED BISHOP METHOD \* \* \* \* \*

The most critical circular failure surface  
is specified by 21 coordinate points

Point No.	x-surf (m)	y-surf (m)
1	19.56	10.00
2	22.53	9.58
3	25.51	9.32
4	28.51	9.22
5	31.51	9.27
6	34.51	9.48
7	37.48	9.84
8	40.44	10.36
9	43.36	11.04
10	46.24	11.86
11	49.08	12.84
12	51.86	13.96
13	54.58	15.23
14	57.23	16.64
15	59.80	18.18
16	62.29	19.86
17	64.69	21.66
18	66.99	23.59
19	69.18	25.63
20	71.27	27.79
21	73.19	30.00

\*\*\*\* Simplified BISHOP FOS = 1.529 \*\*\*\*

The following is a summary of the TEN most critical surfaces

Problem Description : lith18

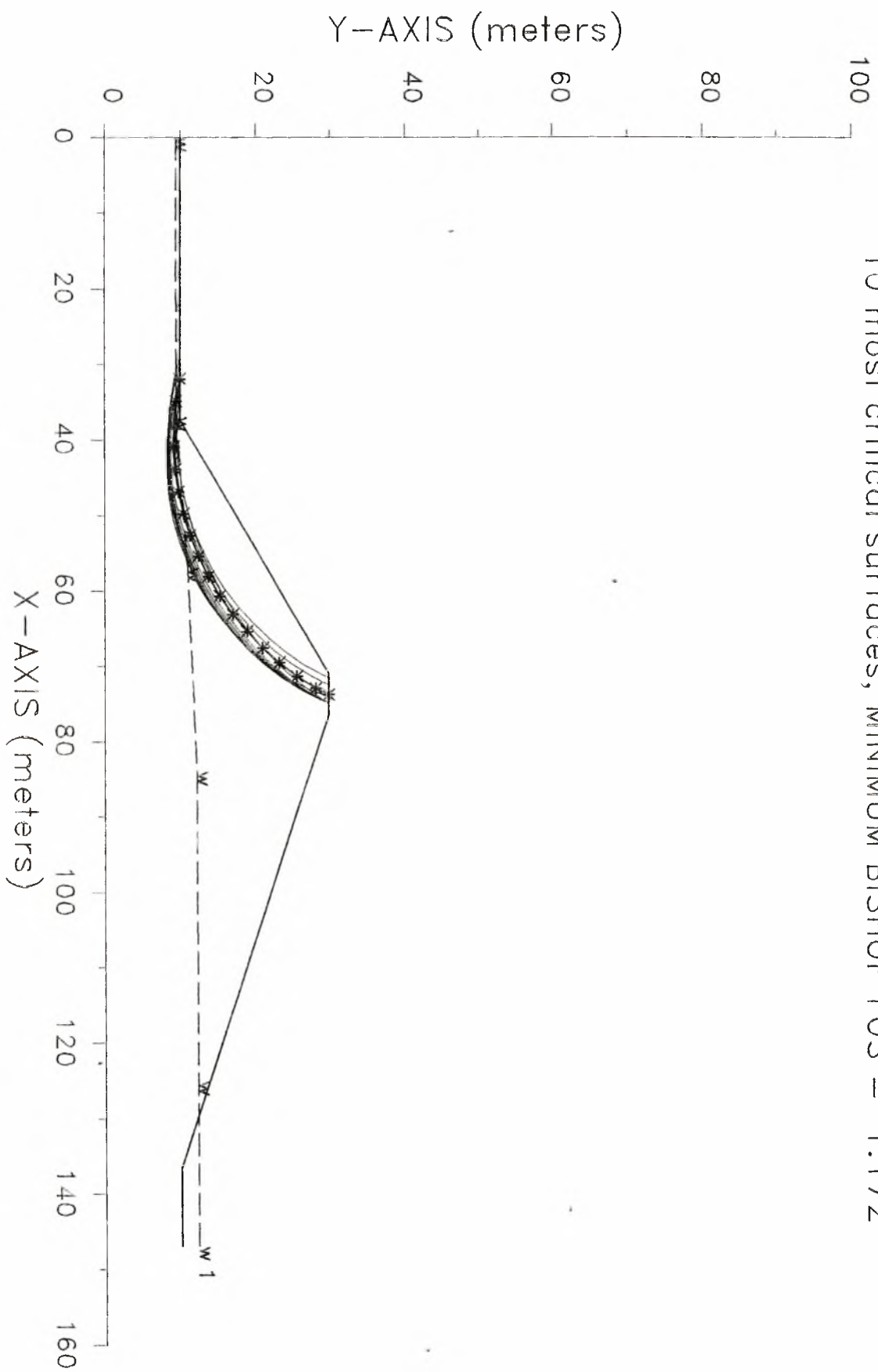
	FOS (BISHOP)	Circle Center x-coord y-coord (m) (m)	Radius (m)	Initial x-coord (m)	Terminal x-coord (m)	Resisting Moment (kN-m)
1.	1.529	29.01 66.56	57.34	19.56	73.19	1.530E+05
2.	1.532	29.31 64.53	55.40	19.56	72.61	1.468E+05

3.	1.533	28.60	69.44	60.42	17.78	74.36	1.720E+05
4.	1.540	28.49	70.46	61.65	16.44	74.98	1.844E+05
5.	1.543	27.80	70.47	61.61	16.00	74.23	1.768E+05
6.	1.544	30.36	61.47	52.99	17.78	72.98	1.575E+05
7.	1.545	30.35	63.32	55.00	16.89	74.08	1.732E+05
8.	1.545	30.64	64.37	56.08	16.89	74.93	1.832E+05
9.	1.546	29.74	60.64	51.65	19.56	71.30	1.337E+05
10.	1.549	32.38	59.80	51.66	18.67	74.56	1.725E+05

\* \* \* END OF FILE \* \* \*

livadi18

10 most critical surfaces, MINIMUM BISHOP FOS = 1.172



```

*****
*                               *
*               X S T A B L     *
*                               *
*      Slope Stability Analysis  *
*            using the          *
*            Method of Slices   *
*                               *
*      Copyright (C) 1992 - 96   *
*      Interactive Software Designs, Inc. *
*      Moscow, ID 83843, U.S.A.  *
*                               *
*      All Rights Reserved      *
*                               *
*      Ver. 5.200                96 - 1208 *
*****

```

Problem Description : livadi18

-----  
 SEGMENT BOUNDARY COORDINATES  
 -----

5 SURFACE boundary segments

Segment No.	x-left (m)	y-left (m)	x-right (m)	y-right (m)	Soil Unit Below Segment
1	.0	10.0	37.4	10.0	1
2	37.4	10.0	71.0	30.0	1
3	71.0	30.0	76.5	30.0	1
4	76.5	30.0	136.5	10.0	1
5	136.5	10.0	147.0	10.0	1

-----  
 ISOTROPIC Soil Parameters  
 -----

1 Soil unit(s) specified

Soil- Unit No.	Unit Weight Moist (kN/m3)	Weight Sat. (kN/m3)	Cohesion Intercept (kPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Parameter Ru	Pressure Constant (kPa)	Water Surface No.
1	17.0	20.0	10.0	22.50	.000	.0	1

1 Water surface(s) have been specified

Unit weight of water = 9.81 (kN/m3)



Water Surface No. 1 specified by 6 coordinate points

\*\*\*\*\*  
PHREATIC SURFACE,  
\*\*\*\*\*

Point No.	x-water (m)	y-water (m)
1	.00	9.40
2	37.00	9.50
3	57.00	11.00
4	84.00	12.20
5	125.00	12.30
6	147.00	12.30

A critical failure surface searching method, using a random technique for generating CIRCULAR surfaces has been specified.

100 trial surfaces will be generated and analyzed.

10 Surfaces initiate from each of 10 points equally spaced along the ground surface between x = 25.0 m and x = 34.0 m

Each surface terminates between x = 70.0 m and x = 75.0 m

Unless further limitations were imposed, the minimum elevation at which a surface extends is y = .0 m

\* \* \* \* \* DEFAULT SEGMENT LENGTH SELECTED BY XSTABL \* \* \* \* \*

3.0 m line segments define each trial failure surface.

-----  
ANGULAR RESTRICTIONS  
-----

The first segment of each failure surface will be inclined within the angular range defined by :

Lower angular limit := -45.0 degrees  
Upper angular limit := (slope angle - 5.0) degrees

Factors of safety have been calculated by the :

\* \* \* \* \* SIMPLIFIED BISHOP METHOD \* \* \* \* \*

The most critical circular failure surface  
is specified by 18 coordinate points

Point No.	x-surf (m)	y-surf (m)
1	32.00	10.00
2	34.96	9.49
3	37.94	9.21
4	40.94	9.17
5	43.94	9.36
6	46.91	9.79
7	49.83	10.46
8	52.69	11.35
9	55.48	12.47
10	58.17	13.80
11	60.74	15.34
12	63.19	17.08
13	65.49	19.00
14	67.63	21.10
15	69.60	23.37
16	71.38	25.78
17	72.97	28.32
18	73.84	30.00

\*\*\*\* Simplified BISHOP FOS = 1.172 \*\*\*\*

The following is a summary of the TEN most critical surfaces

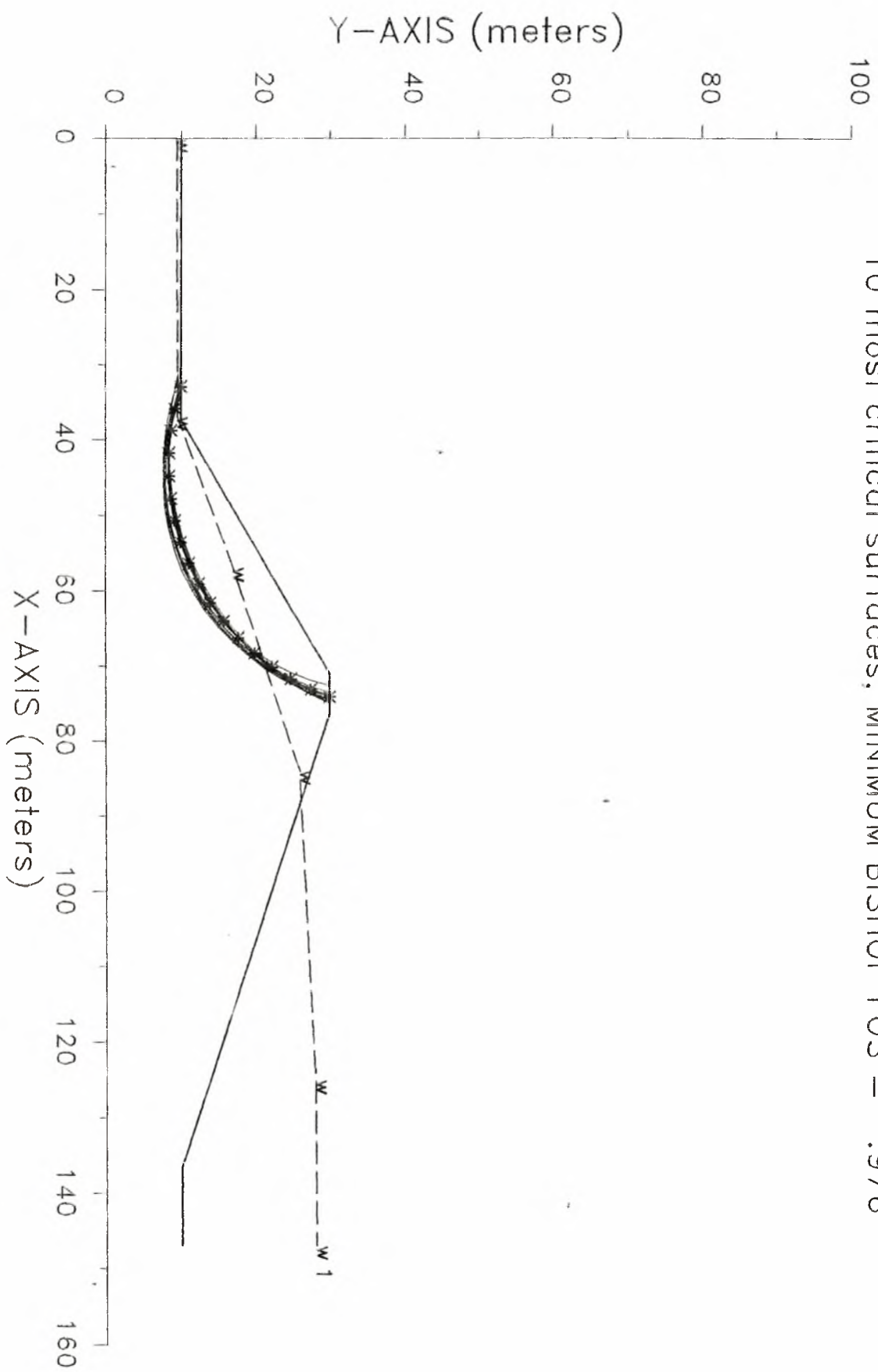
Problem Description : livadi18

	FOS (BISHOP)	Circle Center x-coord (m)	y-coord (m)	Radius (m)	Initial x-coord (m)	Terminal x-coord (m)	Resisting Moment (kN-m)
1.	1.172	39.97	47.15	37.99	32.00	73.84	7.476E+04
2.	1.174	42.27	44.01	35.53	32.00	74.89	8.287E+04
3.	1.176	39.88	45.55	36.21	33.00	72.57	6.488E+04
4.	1.176	42.57	43.52	35.15	32.00	74.98	8.371E+04
5.	1.179	40.70	46.43	37.97	30.00	74.91	8.671E+04
6.	1.179	41.08	45.71	37.39	30.00	74.99	8.752E+04
7.	1.179	43.35	41.11	32.78	33.00	74.18	7.688E+04
8.	1.181	37.83	53.41	43.94	31.00	75.01	8.392E+04
9.	1.183	39.43	45.16	35.57	34.00	71.59	5.739E+04
10.	1.184	39.69	48.36	39.82	29.00	75.01	8.910E+04

\* \* \* END OF FILE \* \* \*

livadi9

10 most critical surfaces, MINIMUM BISHOP FOS = .976



```

*****
*                               *
*           X S T A B L       *
*                               *
*      Slope Stability Analysis *
*            using the         *
*      Method of Slices        *
*                               *
*      Copyright (C) 1992 - 96 *
*      Interactive Software Designs, Inc. *
*      Moscow, ID 83843, U.S.A. *
*                               *
*      All Rights Reserved     *
*                               *
*      Ver. 5.200              96 - 1208 *
*****

```

Problem Description : livadi9

-----  
 SEGMENT BOUNDARY COORDINATES  
 -----

5 SURFACE boundary segments

Segment No.	x-left (m)	y-left (m)	x-right (m)	y-right (m)	Soil Unit Below Segment
1	.0	10.0	37.4	10.0	1
2	37.4	10.0	71.0	30.0	1
3	71.0	30.0	76.5	30.0	1
4	76.5	30.0	136.5	10.0	1
5	136.5	10.0	147.0	10.0	1

-----  
 ISOTROPIC Soil Parameters  
 -----

1 Soil unit(s) specified

Soil Unit No.	Unit Weight Moist (kN/m3)	Unit Weight Sat. (kN/m3)	Cohesion Intercept (kPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Parameter Ru	Pore Pressure Constant (kPa)	Water Surface No.
1	17.0	20.0	10.0	22.50	.000	.0	1

1 Water surface(s) have been specified

Unit weight of water = 9.81 (kN/m3)



Water Surface No. 1 specified by 6 coordinate points

\*\*\*\*\*  
PHREATIC SURFACE,  
\*\*\*\*\*

Point No.	x-water (m)	y-water (m)
1	.00	9.40
2	37.00	9.50
3	57.00	17.00
4	84.00	26.00
5	125.00	28.00
6	147.00	28.00

A critical failure surface searching method, using a random technique for generating CIRCULAR surfaces has been specified.

100 trial surfaces will be generated and analyzed.

10 Surfaces initiate from each of 10 points equally spaced along the ground surface between x = 25.0 m  
and x = 34.0 m

Each surface terminates between x = 70.0 m  
and x = 75.0 m

Unless further limitations were imposed, the minimum elevation at which a surface extends is y = .0 m

\* \* \* \* \* DEFAULT SEGMENT LENGTH SELECTED BY XSTABL \* \* \* \* \*

3.0 m line segments define each trial failure surface.

-----  
ANGULAR RESTRICTIONS  
-----

The first segment of each failure surface will be inclined within the angular range defined by :

Lower angular limit := -45.0 degrees  
Upper angular limit := (slope angle - 5.0) degrees

Factors of safety have been calculated by the :

\* \* \* \* \* SIMPLIFIED BISHOP METHOD \* \* \* \* \*

The most critical circular failure surface  
is specified by 18 coordinate points

Point No.	x-surf (m)	y-surf (m)
1	33.00	10.00
2	35.89	9.18
3	38.84	8.64
4	41.82	8.36
5	44.82	8.36
6	47.81	8.63
7	50.76	9.17
8	53.65	9.98
9	56.45	11.06
10	59.14	12.38
11	61.70	13.94
12	64.11	15.73
13	66.34	17.74
14	68.38	19.94
15	70.21	22.32
16	71.82	24.85
17	73.18	27.52
18	74.18	30.00

\*\*\* Simplified BISHOP FOS = .976 \*\*\*

The following is a summary of the TEN most critical surfaces

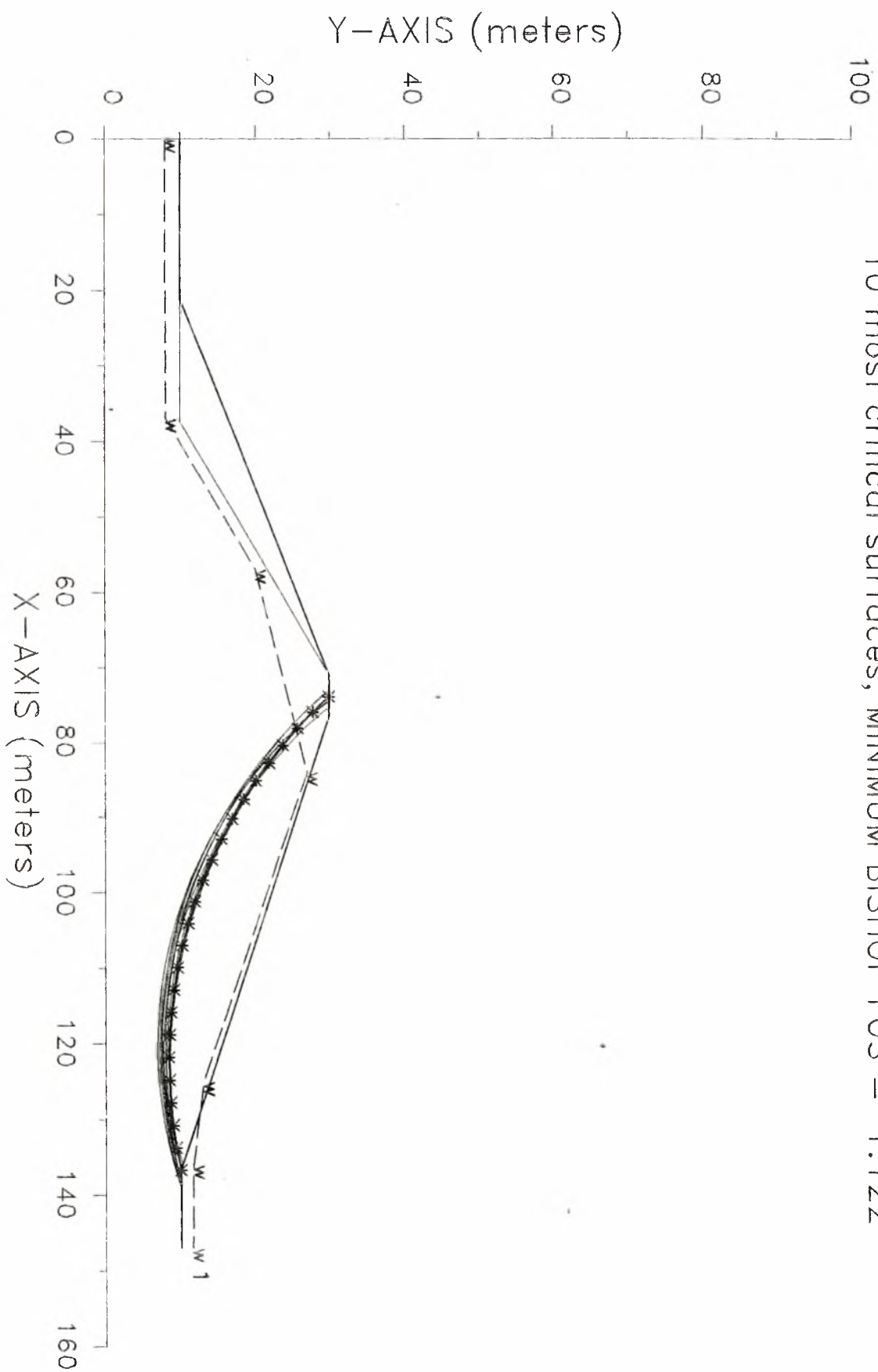
Problem Description : livadi9

	FOS (BISHOP)	Circle Center x-coord (m)	y-coord (m)	Radius (m)	Initial x-coord (m)	Terminal x-coord (m)	Resisting Moment (kN-m)
1.	.976	43.35	41.11	32.78	33.00	74.18	6.721E+04
2.	.977	42.57	43.52	35.15	32.00	74.98	7.340E+04
3.	.978	42.27	44.01	35.53	32.00	74.89	7.276E+04
4.	.981	44.97	38.32	30.37	34.00	74.15	6.605E+04
5.	.981	44.65	38.90	31.16	33.00	74.48	6.988E+04
6.	.982	43.21	40.95	33.27	31.00	74.61	7.428E+04
7.	.983	44.83	37.72	29.75	34.00	73.53	6.302E+04
8.	.988	45.47	36.88	29.23	34.00	73.86	6.521E+04
9.	.989	41.08	45.71	37.39	30.00	74.99	7.733E+04
10.	.991	44.40	36.75	29.08	33.00	72.66	6.097E+04

\* \* \* END OF FILE \* \* \*

ananth3

10 most critical surfaces, MINIMUM BISHOP FOS = 1.122



```

*****
*               X S T A B L               *
*               Slope Stability Analysis   *
*               using the                   *
*               Method of Slices           *
*               Copyright (C) 1992 - 96    *
*               Interactive Software Designs, Inc. *
*               Moscow, ID 83843, U.S.A.   *
*               All Rights Reserved        *
*               Ver. 5.200                  96 - 1208 *
*****

```

Problem Description : ananth3

-----  
SEGMENT BOUNDARY COORDINATES  
-----

5 SURFACE boundary segments

Segment No.	x-left (m)	y-left (m)	x-right (m)	y-right (m)	Soil Unit Below Segment
1	.0	10.0	21.0	10.0	1
2	21.0	10.0	71.0	30.0	2
3	71.0	30.0	76.5	30.0	1
4	76.5	30.0	136.5	10.0	1
5	136.5	10.0	147.0	10.0	1

2 SUBSURFACE boundary segments

Segment No.	x-left (m)	y-left (m)	x-right (m)	y-right (m)	Soil Unit Below Segment
1	21.0	10.0	37.4	10.0	1
2	37.4	10.0	71.0	30.0	1

-----  
ISOTROPIC Soil Parameters  
-----

2 Soil unit(s) specified

Soil Unit No.	Unit Weight Moist (kN/m3)	Unit Weight Sat. (kN/m3)	Cohesion Intercept (kPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Parameter Ru	Water Surface Constant (kPa)	Water Surface No.
1							
2							



1	17.0	20.0	10.0	22.50	.000	.0	1
2	17.0	20.0	.0	40.00	.000	.0	1

1 Water surface(s) have been specified

Unit weight of water = 9.81 (kN/m3)

Water Surface No. 1 specified by 7 coordinate points

\*\*\*\*\*  
PHREATIC SURFACE,  
\*\*\*\*\*

Point No.	x-water (m)	y-water (m)
1	.00	8.00
2	37.00	8.10
3	57.00	20.00
4	84.00	27.00
5	125.00	13.00
6	136.00	11.60
7	147.00	11.50

A critical failure surface searching method, using a random technique for generating CIRCULAR surfaces has been specified.

100 trial surfaces will be generated and analyzed.

10 Surfaces initiate from each of 10 points equally spaced along the ground surface between x = 132.0 m and x = 139.0 m

Each surface terminates between x = 73.0 m and x = 78.0 m

Unless further limitations were imposed, the minimum elevation at which a surface extends is y = .0 m

\* \* \* \* \* DEFAULT SEGMENT LENGTH SELECTED BY XSTABL \* \* \* \* \*

3.0 m line segments define each trial failure surface.

-----  
ANGULAR RESTRICTIONS  
-----

The first segment of each failure surface will be inclined within the angular range defined by :

Lower angular limit := -45.0 degrees  
Upper angular limit := (slope angle - 5.0) degrees

Factors of safety have been calculated by the :

\* \* \* \* \* SIMPLIFIED BISHOP METHOD \* \* \* \* \*

The most critical circular failure surface is specified by 25 coordinate points

Point No.	x-surf (m)	y-surf (m)
1	136.67	10.00
2	133.73	9.41
3	130.76	8.95
4	127.78	8.64
5	124.78	8.46
6	121.78	8.41
7	118.78	8.51
8	115.79	8.74
9	112.82	9.12
10	109.86	9.62
11	106.93	10.27
12	104.03	11.05
13	101.17	11.96
14	98.36	13.00
15	95.60	14.17
16	92.89	15.47
17	90.25	16.89
18	87.68	18.43
19	85.18	20.08
20	82.75	21.85
21	80.42	23.74
22	78.17	25.72
23	76.01	27.81
24	73.96	29.99
25	73.95	30.00

\*\*\*\* Simplified BISHOP FOS = 1.122 \*\*\*\*

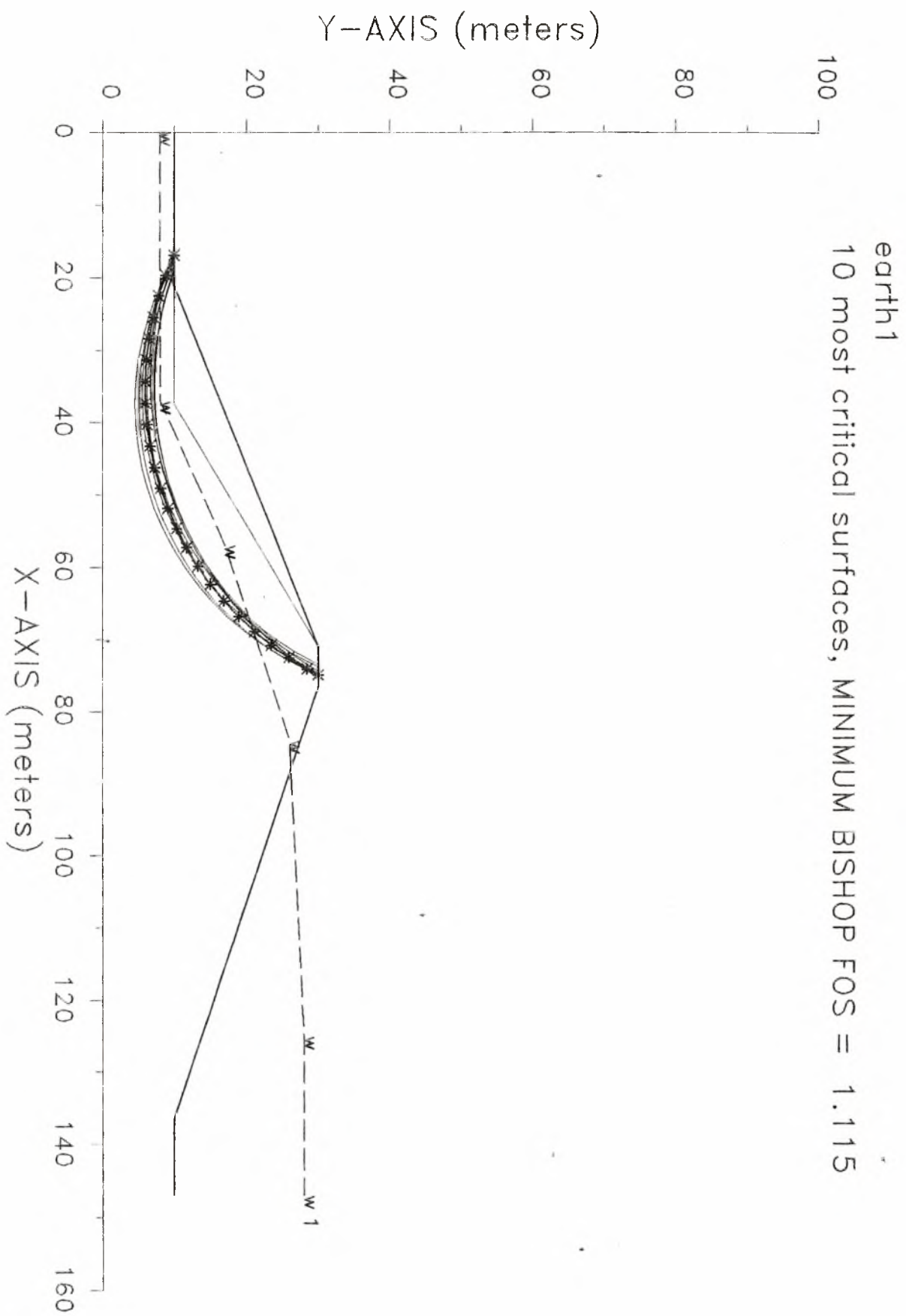
The following is a summary of the TEN most critical surfaces

Problem Description : ananth3

FOS	Circle Center	Radius	Initial	Terminal	Resisting
-----	---------------	--------	---------	----------	-----------

	(BISHOP)	x-coord (m)	y-coord (m)	(m)	x-coord (m)	x-coord (m)	Moment (kN-m)
1.	1.122	122.37	73.51	65.10	136.67	73.95	1.701E+05
2.	1.123	121.66	66.79	59.15	138.22	75.36	1.612E+05
3.	1.123	120.69	70.52	62.59	136.67	73.01	1.791E+05
4.	1.124	120.97	67.62	60.14	138.22	74.06	1.741E+05
5.	1.124	122.93	75.26	66.69	136.67	73.95	1.707E+05
6.	1.125	122.56	73.15	65.06	138.22	73.89	1.762E+05
7.	1.126	121.33	71.29	63.58	138.22	72.99	1.850E+05
8.	1.127	118.83	62.27	54.79	135.89	74.55	1.586E+05
9.	1.127	120.91	68.82	61.54	139.00	73.18	1.862E+05
10.	1.127	120.41	64.18	57.28	139.00	74.45	1.736E+05

\* \* \* END OF FILE \* \* \*





```

*****
*                               *
*               X S T A B L     *
*                               *
*       Slope Stability Analysis *
*             using the         *
*             Method of Slices  *
*                               *
*       Copyright (C) 1992 - 96 *
*   Interactive Software Designs, Inc. *
*       Moscow, ID 83843, U.S.A.    *
*                               *
*       All Rights Reserved       *
*                               *
*   Ver. 5.200                   96 - 1208 *
*****

```

Problem Description : earth1

-----  
SEGMENT BOUNDARY COORDINATES  
-----

5 SURFACE boundary segments

Segment No.	x-left (m)	y-left (m)	x-right (m)	y-right (m)	Soil Unit Below Segment
1	.0	10.0	21.0	10.0	1
2	21.0	10.0	71.0	30.0	2
3	71.0	30.0	76.5	30.0	1
4	76.5	30.0	136.5	10.0	1
5	136.5	10.0	147.0	10.0	1

2 SUBSURFACE boundary segments

Segment No.	x-left (m)	y-left (m)	x-right (m)	y-right (m)	Soil Unit Below Segment
1	21.0	10.0	37.4	10.0	1
2	37.4	10.0	71.0	30.0	1

-----  
ISOTROPIC Soil Parameters  
-----

2 Soil unit(s) specified

Soil Unit No.	Unit Weight Moist (kN/m3)	Sat. (kN/m3)	Cohesion Intercept (kPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Parameter Ru (kPa)	Water Surface No.

1	17.0	20.0	10.0	22.50	.000	.0	1
2	17.0	20.0	.0	40.00	.000	.0	1

1 Water surface(s) have been specified

Unit weight of water = 9.81 (kN/m3)

Water Surface No. 1 specified by 6 coordinate points

\*\*\*\*\*  
 PHREATIC SURFACE,  
 \*\*\*\*\*

Point No.	x-water (m)	y-water (m)
1	.00	8.00
2	37.00	8.10
3	57.00	17.00
4	84.00	26.00
5	125.00	28.00
6	147.00	28.00

A horizontal earthquake loading coefficient  
 of .091 has been assigned

A vertical earthquake loading coefficient  
 of .000 has been assigned

A critical failure surface searching method, using a random  
 technique for generating CIRCULAR surfaces has been specified.

100 trial surfaces will be generated and analyzed.

10 Surfaces initiate from each of 10 points equally spaced  
 along the ground surface between x = 16.0 m  
 and x = 20.0 m

Each surface terminates between x = 70.0 m  
 and x = 75.0 m

Unless further limitations were imposed, the minimum elevation  
 at which a surface extends is y = .0 m

\* \* \* \* \* DEFAULT SEGMENT LENGTH SELECTED BY XSTABL \* \* \* \* \*

3.0 m line segments define each trial failure surface.

-----  
ANGULAR RESTRICTIONS  
-----

The first segment of each failure surface will be inclined within the angular range defined by :

Lower angular limit := -45.0 degrees  
Upper angular limit := (slope angle - 5.0) degrees

\*\*\*\*\*  
-- WARNING -- WARNING -- WARNING -- WARNING -- (# 48)  
\*\*\*\*\*  
Negative effective stresses were calculated at the base of a slice.  
This warning is usually reported for cases where slices have low self weight and a relatively high "c" shear strength parameter. In such cases, this effect can only be eliminated by reducing the "c" value.  
\*\*\*\*\*

-----  
USER SELECTED option to maintain strength greater than zero  
-----

Factors of safety have been calculated by the :

\* \* \* \* \* SIMPLIFIED BISHOP METHOD \* \* \* \* \*

The most critical circular failure surface is specified by 24 coordinate points

Point No.	x-surf (m)	y-surf (m)
1	16.89	10.00
2	19.66	8.85
3	22.50	7.88
4	25.40	7.11
5	28.34	6.54
6	31.32	6.16
7	34.31	5.99
8	37.31	6.02
9	40.31	6.24
10	43.27	6.67
11	46.21	7.30
12	49.09	8.13
13	51.92	9.14
14	54.66	10.34
15	57.32	11.73
16	59.89	13.29
17	62.34	15.02

18	64.67	16.91
19	66.86	18.95
20	68.92	21.14
21	70.82	23.46
22	72.57	25.90
23	74.14	28.45
24	74.96	30.00

\*\*\*\* Simplified BISHOP FOS = 1.115 \*\*\*\*

The following is a summary of the TEN most critical surfaces

Problem Description : earth1

	FOS (BISHOP)	Circle Center x-coord (m)	y-coord (m)	Radius (m)	Initial x-coord (m)	Terminal x-coord (m)	Resisting Moment (kN-m)
1.	1.115	35.41	50.59	44.61	16.89	74.96	1.721E+05
2.	1.118	35.94	50.32	44.04	18.22	75.00	1.666E+05
3.	1.121	37.21	46.26	41.14	17.78	74.98	1.704E+05
4.	1.122	34.34	54.14	47.30	17.33	75.01	1.701E+05
5.	1.124	35.70	47.51	41.96	16.89	73.80	1.627E+05
6.	1.126	33.48	54.36	47.68	16.00	74.44	1.705E+05
7.	1.126	37.48	44.61	40.05	17.33	74.76	1.718E+05
8.	1.127	34.58	54.55	47.30	18.67	74.99	1.648E+05
9.	1.128	34.95	48.95	42.93	16.89	73.46	1.585E+05
10.	1.128	34.79	54.27	46.96	19.11	74.98	1.629E+05

\* \* \* END OF FILE \* \* \*





## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:**

### **1) GEOTECHNICAL ENGINEERING OF EMBANKMENT DAMS**

-PATRICK MacGREGOR  
-ROBIN FELL  
-DAVID STAPLEDON

A.A. BALKEMA / ROTTERDAM / BROOKFIELD / 1992

### **2) ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

Κατασκευές στην επιφάνεια του βράχου  
Υπόγειες κατασκευές Φράγματος

- Χρήστος Ν. Μαραγκός

### **3) Σημειώσεις του μαθήματος : «ΧΩΜΑΤΙΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ» Βόλος 2002**

Ι.Θανόπουλος

